



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**LUCAS DE OLIVEIRA MOURA RODRIGUES**

**ANÁLISE DE LINEAMENTOS E DE DADOS ESTRUTURAIS**  
**NEOTECTÔNICOS NA REGIÃO NORTE-FLUMINENSE, ENTRE OS**  
**RIOS PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA**

Rio de Janeiro

2015

LUCAS DE OLIVEIRA MOURA RODRIGUES

**ANÁLISE DE LINEAMENTOS E DE DADOS ESTRUTURAIS  
NEOTECTÔNICOS NA REGIÃO NORTE-FLUMINENSE, ENTRE OS  
RIOS PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA**

Trabalho Final de Curso de Graduação em  
Geologia do Instituto de Geociências,  
Universidade Federal do Rio de Janeiro –  
UFRJ, apresentado como requisito necessário  
para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Rio de Janeiro  
2015

RODRIGUES, Lucas de Oliveira Moura  
Análise de Lineamentos e de Dados Estruturais  
Neotectônicos Entre os Rios Paraíba do Sul e Itabapoana/  
Lucas de Oliveira Moura Rodrigues. – Rio de Janeiro: UFRJ,  
Instituto de Geociências, 2015.  
xi, 48 p.  
Trabalho Final de Curso: Graduação em Geologia –  
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de  
Geociências, Departamento de Geologia, 2015.  
Orientador: Claudio Limeira Mello  
1. Neotectônica 2. Cenozoico 3. Sudeste do Brasil

LUCAS DE OLIVEIRA MOURA RODRIGUES

**ANÁLISE DE LINEAMENTOS E DE DADOS ESTRUTURAIS  
NEOTECTÔNICOS NA REGIÃO NORTE-FLUMINENSE, ENTRE OS  
RIOS PARAÍBA DO SUL E ITABAPOANA**

Trabalho Final de Curso submetido ao  
Programa de Graduação em Geologia, Instituto  
de Geociências da Universidade Federal do  
Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito  
necessário para obtenção do grau de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Claudio Limeira Mello

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Por:

---

Claudio Limeira Mello (Departamento de Geologia – IGEO/UFRJ)

---

Julio Cezar Mendes (Departamento de Geologia – IGEO/UFRJ)

---

Rodrigo Peternel Machado Nunes (Faculdade de Geologia – UERJ)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao Prof. Cláudio Limeira, por esses quase cinco de paciência, aprendizado e especialmente amizade, sem dúvidas o melhor orientador que eu poderia ter escolhido.

Aos amigos de “Sala 23”, hoje geólogos, Tainara, por todo apoio e amizade; Bruno, pelo convívio e influências; João Victor, pelos inúmeros dias de campo juntos, sempre felizes; Bernardo (Shak), pela amizade e paciência morando comigo durante o intercâmbio; e ao Doutor André Negrão (Seninha) e à Doutoranda Thaís Brêda por terem tido paciência para me auxiliar e orientar, afinal são o topo da pirâmide!

Agradeço, em especial, à Magda, por todo apoio e suporte nesse último ano, sem dúvidas, o meu maior alicerce para chegar onde estou e seguir adiante.

## RESUMO

RODRIGUES, Lucas de Oliveira Moura. Análise de lineamentos e de dados estruturais neotectônicos na região norte-fluminense, entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana. Rio de Janeiro, 2015. 48 p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

O presente estudo tem como objetivo analisar e interpretar lineamentos e dados estruturais neotectônicos na região norte do estado do Rio de Janeiro, entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana. A metodologia do trabalho consistiu em atividades de geoprocessamento, tendo como base um modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir de imagens de satélite ALOS, além de atividades de campo, envolvendo as seguintes etapas: a) confecção de mapa de lineamentos, a partir do MDE, analisado com duas direções de iluminação diferentes (045° e 315°) e ângulo de iluminação de 45°; b) análise estrutural de pares falhas/estrias afetando os depósitos da Formação Barreiras, coberturas sedimentares mais recentes e saprolitos de rochas do embasamento. A partir da análise de lineamentos, foi identificado um forte controle de direção NW-SE, com maior densidade de lineamentos com essa orientação, especialmente na área de domínio da Formação Barreiras. Lineamentos com direção NE-SW também ocorrem de forma representativa, principalmente na região do embasamento. Em relação à análise dos dados estruturais, foram identificados dois conjuntos de falhas: 1) falhas normais NW-SE a NNW-SSE, falhas dextrais NW-SE e WNW-ESE a ENE-WSW, e falhas sinistrais NNW-SSE a NNE-SSW; e 2) falhas normais NE-SW a ENE-WSW. Correlacionando-se os dados obtidos com outros estudos realizados na região Sudeste do Brasil, atribui-se o primeiro conjunto de falhas a um regime de transcorrência dextral E-W, de idade pleistocênica-holocênica; o segundo conjunto de falhas é associado a um regime distensivo NW-SE, holocênico. A integração entre o mapa de lineamentos e os padrões estruturais observados evidencia um expressivo controle neotectônico, especialmente relacionado à fase de transcorrência dextral E-W.

Palavras-chave: Neotectônica, Cenozoico, Sudeste do Brasil

## ABSTRACT

RODRIGUES, Lucas de Oliveira Moura. Lineament and Neotectonic Structural Data Analysis in the Northern Region of Rio de Janeiro State, between Paraíba do Sul and Itabapoana rivers. Rio de Janeiro, 2015. 48 p. Final Course Monography (Geology) - Department of Geology, Institut of Geosciences, Federal University of Rio de Janeiro.

The present study aims to analyze and interpret lineaments and neotectonics structural data in the northern region of the state of Rio de Janeiro, between Paraíba do Sul and Itabapoana rivers. The methodological approach of this study consisted of GIS activities, based on a Digital Elevation Model (DEM) generated from ALOS satellite imagery, besides field activities involving the following steps: a) preparation of a lineament map from the DEM analyses with different lighting directions ( $045^{\circ}$  and  $315^{\circ}$ ) and illumination angle of  $45^{\circ}$ ; b) structural analysis of faults/striae pairs affecting weathering profiles of Precambrian rocks, Barreiras Formation deposits and more recent sedimentary deposits. From the lineament analysis, it was possible to identify the trend NW-SE as the main one in the area, especially in Barreiras Formation domain. NE-SW lineaments also occur in a representative way, most in Precambrian rocks domain. On structural data analysis, two sets of brittle structures were identified: 1) NW-SE to NNW-SSE normal faults, NW-SE and WNW-ESE to ENE-WSW dextral faults and NNW-SSE to NNE-SSW sinistral faults; and 2) NE-SW to ENE-WSW normal faults. Correlating obtained data with other studies in Southeastern Brazil, the first fault sets is associated with a dextral E-W transcurrence, dated on Pleistocene-Holocene; the second one is associated with a NW-SE distensional regime, dated on Holocene. The integration between lineaments map and structural data shows a significant neotectonic control, especially related to the phase of dextral transcurrence E-W.

Key words: Neotectonics, Cenozoic, Southeastern Brazil

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1:</b> Localização da área de estudo e principais vias de acesso. Imagens <i>Google Earth</i> (2015).	3
<b>Figura 3.2:</b> Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro (Dantas, 2000), na porção da área do presente estudo.	4
<b>Figura 3.3:</b> Mapa tectônico da região Sudeste do Brasil, segundo Riccomini <i>et al.</i> (2004).	9
<b>Figura 3.4:</b> Mapa geológico da área de estudo (Silva & Cunha, 2001).	10
<b>Figura 3.5:</b> Coluna estratigráfica da bacia de Campos (Winter <i>et al.</i> , 2007).	13
<b>Figura 3.6:</b> Comparação entre os mapas de Chrismann (2014, escala 1:25.000), Ribeiro (2010, escala 1:250.000) e Silva & Cunha (2001, escala 1:500.000). Modificado de Chrismann (2014).	15
<b>Figura 3.7:</b> Mapa de organização da drenagem e MDE com a delimitação das bacias de quarta ordem sobre a Formação Barreiras na área de estudo e a demarcação dos parâmetros de assimetria de bacia; perfis com observação do padrão de escalonamento dos tabuleiros; e roseta de frequência das direções de vetores de deslocamento de fluxo (Ribeiro, 2010).	18
<b>Figura 3.8:</b> Quadro dos eventos neotectônicos reconhecidos em diferentes áreas do Sudeste do Brasil (Brêda, 2012), com destaque para os eventos identificados por Ribeiro (2010).	20
<b>Figura 4.1:</b> Exemplo de como se extraíram os lineamentos em uma região da área de estudo, onde: A mostra o <i>hillshade</i> com azimuth de iluminação 045°; B representa o <i>hillshade</i> com azimuth de iluminação 315° e; C consiste no mapa de lineamentos integrados extraídos.	22
<b>Figura 4.2:</b> Roseta que representa as classes utilizadas para a classificação dos lineamentos.	23
<b>Figura 4.3:</b> Tipos de indicadores cinemáticos em planos de falha que possibilitam a determinação do sentido de movimento ao longo do plano, segundo Angelier (1994 <i>in</i> Ribeiro, 2010). A) degraus de minerais neoformados; B) marcas de objetos; C) fraturas de cisalhamento sintéticas (R); D) picos estilolíticos; E) facetas polidas e rugosas alternadas; F) <i>tension gashes</i> ; G) fraturas de cisalhamento antitéticas (R <sup>^</sup> ); H) marcas parabólicas; e I) vesículas deformadas em lavas.	24
<b>Figura 4.4.:</b> Método dos diedros retos (Angelier, 1994). A) diedros de distensão (T) e compressão (P) definidos pela interseção do plano de falha (F) com o plano auxiliar (A), impostos pela tensão representada pelos seus componentes: normal ao plano de falha <n> e tangencial <s>. B) Projeções estereográficas dos planos F e A, onde B é a interseção dos dois, P indica os diedros compressivos e T os distensivos. C) Projeção estereográfica de falha normal e seu plano auxiliar, delimitando os campos compressivo e distensivo. D) Idem à anterior, para uma falha direcional. E) Superposição das projeções estereográficas das falhas representadas em C e D, mostrando áreas 100% compressivas (em cinza), 100% distensivas (pontilhadas),	



resultantes da coerência desses domínios em C e D, e áreas com 50% de cada (em branco), resultantes da superposição de domínios compressivos e distensivos. ____	25
<b>Figura 4.5:</b> Terminologia para descrição de elementos de fraturas secundárias em um contexto de cisalhamento simples (Petit, 1987). $\sigma_1$ -eixo de tensão máxima; $\sigma_3$ -eixo de tensão mínima; R-falha sintética; R'-falha antitética; T-falha normal; P-falha sintética de baixo ângulo; Y-falha de cisalhamento principal. _____	25
<b>Figura 5.1:</b> Mapa de lineamentos e roseta de frequência de lineamentos na área de estudo. _____	26
<b>Figura 5.2:</b> Roseta de frequência e tabela de dados dos lineamentos extraídos no domínio do Embasamento. _____	27
<b>Figura 5.3:</b> Roseta de frequência e tabela de dados dos lineamentos extraídos no domínio da Formação Barreiras. _____	27
<b>Figura 5.4:</b> Mapa de lineamentos da classe NW-SE. _____	28
<b>Figura 5.5:</b> Mapa de lineamentos da classe NE-SW. _____	29
<b>Figura 5.6:</b> Mapa de lineamentos da classe N-S. _____	30
<b>Figura 5.7:</b> Mapa de lineamentos da classe E-W. _____	31
<b>Figura 5.8:</b> Mapa de pontos onde foram coletados e analisados dados estruturais. ____	33
<b>Figura 5.9:</b> Zonas de falhas observadas no ponto MC-02, afetando o embasamento e a cobertura sedimentar neogênica. _____	34
<b>Figura 5.10:</b> Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-02: (A) falhas dextrais normais WSW-ENE e NE-SW, e falhas normais NW-SE relacionadas a um regime transcorrente dextral E-W; e (B) falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a um regime de distensão NW-SE. Simbologia: $\odot^{\sigma_1}$ - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ ); $\blacktriangle^{\sigma_2}$ - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ ); $\blacksquare^{\sigma_3}$ - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). _____	34
<b>Figura 5.11:</b> Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-04: (A) falha dextral normal NW-SE, falhas normais NNW-SSE e NW-SE relacionadas a um regime transcorrente dextral E-W. Simbologia: $\odot^{\sigma_1}$ - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ ); $\blacktriangle^{\sigma_2}$ - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ ); $\blacksquare^{\sigma_3}$ - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). _____	35
<b>Figura 5.12:</b> Ponto MC-05, com uma porção fotointerpretada, além de detalhe de um plano de falha estriado. _____	36
<b>Figura 5.13:</b> Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-05: (A) falhas dextrais normais E-W e falhas normais NW-SE relacionadas a um regime transcorrente dextral E-W; e (B) falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a um regime de distensão NW-SE. Simbologia: $\odot^{\sigma_1}$ - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ ); $\blacktriangle^{\sigma_2}$ - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ ); $\blacksquare^{\sigma_3}$ - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). _____	37

**Figura 5.14:** Ponto MC-CZ-01, sendo destacada uma lente pelítica (em laranja) em meio aos depósitos fraturados da Formação Barreiras, com estruturas de orientação variável, predominando o *trend* WNW-ESE. \_\_\_\_\_ **38**

**Figura 5.15:** Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-CZ-01: **(A)** falhas dextrais normais WNW-ESE e NW-SE, e falhas normais NW-SE relacionadas a um regime transcorrente dextral E-W; e **(B)** falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a um regime de distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). \_\_\_\_\_ **38**

**Figura 5.16:** Fotomosaico interpretado por Ribeiro (2010) do afloramento Córrego Sucupira (ponto RM-16a), onde são identificadas falhas que deslocam a Formação Barreiras. Em detalhe, pode ser observada estrias de falhas contidas em um dos planos. In: Ribeiro (2010). \_\_\_\_\_ **39**

**Figura 5.17:** Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto RM-16a: **(A)** falhas dextrais normais WSW-ENE e NW-SE e falha sinistral normal NW-SE, relacionadas a um regime transcorrente dextral E-W; e **(B)** falhas normais NE-SW e ENE-WSW, relacionadas a um regime de distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). \_\_\_\_\_ **40**

**Figura 5.18:** Ponto Travessão-Cenozoico 09 (TR-CZ-09), onde se pode observar o contato entre o embasamento e a Formação Barreiras. \_\_\_\_\_ **40**

**Figura 5.19:** Croqui de um trecho do afloramento analisado no ponto TR-CZ-09, onde há deslocamento das camadas, inclusive dos depósitos neogênicos, por falhas normais NE-SW. Legenda: vermelho – embasamento alterado; amarelo – lamitos da Fm. Barreiras; laranja – arenitos da Fm. Barreiras (paleocorrente: 140°); rosa – cobertura sedimentar neogênica. \_\_\_\_\_ **41**

**Figura 5.20:** Projeções estereográficas e o campo de tensão associado a: **(A)** falhas normais NE-SW relacionadas a um regime de distensão NW-SE, observadas no ponto TR-CZ-09. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ). \_\_\_\_\_ **41**

**Figura 5.21:** Mapa de lineamentos e de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na área de estudo, com a indicação dos pontos com estruturas compatíveis com o regime de transcorrência dextral E-W. \_\_\_\_\_ **43**

**Figura 5.22:** Mapa de lineamentos e de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na área de estudo, com a indicação dos pontos com estruturas compatíveis com o regime de distensão NW-SE. \_\_\_\_\_ **44**

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 3.1:** Divisão geomorfológica do Estado do Rio de Janeiro de acordo com Dantas (2000). \_\_\_\_\_ **5**

**Tabela 5.1:** Dados de lineamentos, tabelados de acordo com orientação, quantidade e comprimento. \_\_\_\_\_ **27**

**Tabela 5.2:** Afloramentos selecionados para análise estrutural, com coordenadas geográficas e total de medidas de pares falha/estria analisadas. \_\_\_\_\_ **32**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO</b>	<b>2</b>
<b>3.ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>2</b>
<b>3.1 Localização e Acessos</b>	<b>2</b>
<b>3.2 Geomorfologia</b>	<b>3</b>
<b>3.3 Geologia Regional</b>	<b>8</b>
3.3.1 Embasamento pré-cambriano	9
3.3.1.1 Complexos Gnáissicos	9
3.3.1.2 Suítes Intrusivas	11
3.3.1.3 Granitoide pós-tectônico	12
3.3.2 Sedimentação Mesozoica-Cenozoica	12
3.3.2.1 Bacia de Campos	12
3.3.2.2 Formação Barreiras	14
3.3.2.3 Sedimentação Quaternária	16
<b>3.4 Neotectônica no sudeste do Brasil</b>	<b>17</b>
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>21</b>
<b>4.1 Análise de lineamentos</b>	<b>21</b>
<b>4.2 Análise estrutural</b>	<b>23</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Padrões de Lineamentos</b>	<b>26</b>
5.1.1 Classe NW-SE	28
5.1.2 Classe NE-SW	29
5.1.3 Classe N-S	30
5.1.4 Classe E-W	31
<b>5.2 Dados Estruturais rúpteis</b>	<b>32</b>
5.2.1 Ponto Morro do Coco 02 (MC-02)	33
5.2.2 Ponto Morro do Coco 04 (MC-04)	35
5.2.3 Ponto Morro do Coco 05 (MC-05)	35
5.2.4 Ponto Morro do Coco Cenozoico 01 (MC-CZ-01)	37
5.2.5 Ponto Córrego Sucupira (RM-16a)	39
5.2.6 Ponto Travessão Cenozoico 09 (TR-CZ-09)	40
<b>5.3 Análise dos campos de paleotensões e regimes tectônicos</b>	<b>42</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b>	<b>45</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE 1 – Tabela de Dados Estruturais</b>	

## 1- INTRODUÇÃO

A Formação Barreiras, de idade miocênica-pliocênica, por possuir uma vasta distribuição ao longo de grande parte da costa brasileira (desde o Rio de Janeiro até o Amapá), tem sido destacada como uma unidade estratigráfica de grande importância à luz da correlação de eventos tectônicos e de sedimentação ao longo da margem brasileira. Segundo Hasui (1990), o intervalo temporal associado aos eventos neotectônicos no Brasil começa com os primeiros depósitos desta unidade estratigráfica e do último pacote sedimentar nas bacias costeiras, além do final do magmatismo em área emersa, durante o Mioceno médio.

No estado do Rio de Janeiro, a maior ocorrência da Formação Barreiras está situada na região norte, entre a cidade de Campos dos Goytacazes e a divisa com o Espírito Santo. Ao longo de toda a área há registros de atividade neotectônica, relacionados por Ribeiro (2010) a dois principais eventos: regime de transcorrência dextral E-W, pleistocênico; e distensão NW-SE, holocênica. Há uma associação desses registros com as fases tectônicas descritas no modelo de Ricomini *et al.* (2004) para a evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB).

A análise de modelos digitais de elevação (MDEs) consiste em uma importante ferramenta de apoio à geologia estrutural. Um bom exemplo é a geração de mapas de lineamentos, que são feições lineares topográficas ou tonais do terreno, imagens e mapas, que podem representar zonas de fraqueza estrutural (Sabins, 1978 *apud* Liu, 1987). O mapa de lineamentos associado a dados coletados em campo pode servir de base para uma análise da geologia estrutural/neotectônica da área de estudo. Ribeiro (2010) adotou esta abordagem em escala regional, englobando a presente área de estudo.

O trabalho aqui realizado tem como motivação maior discutir a relação entre padrões de lineamentos e movimentações neotectônicas na região norte do estado do Rio de Janeiro, em especial no domínio dos tabuleiros da Formação Barreiras. Para isso, foi realizada uma análise integrada de padrões de lineamentos topográficos e estruturas rúpteis buscando contribuir com novos dados para um maior conhecimento da evolução tectonossedimentar da margem sudeste do Brasil.

## **2- OBJETIVO**

O presente estudo visa analisar a correlação entre padrões de lineamentos e a deformação neotectônica na região norte do estado do Rio de Janeiro, entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana, em especial sobre os tabuleiros da Formação Barreiras.

Os objetivos específicos foram: a) analisar padrões de lineamentos; e b) caracterizar estruturas e padrões de fraturamento neotectônico observados nos depósitos cenozoicos.

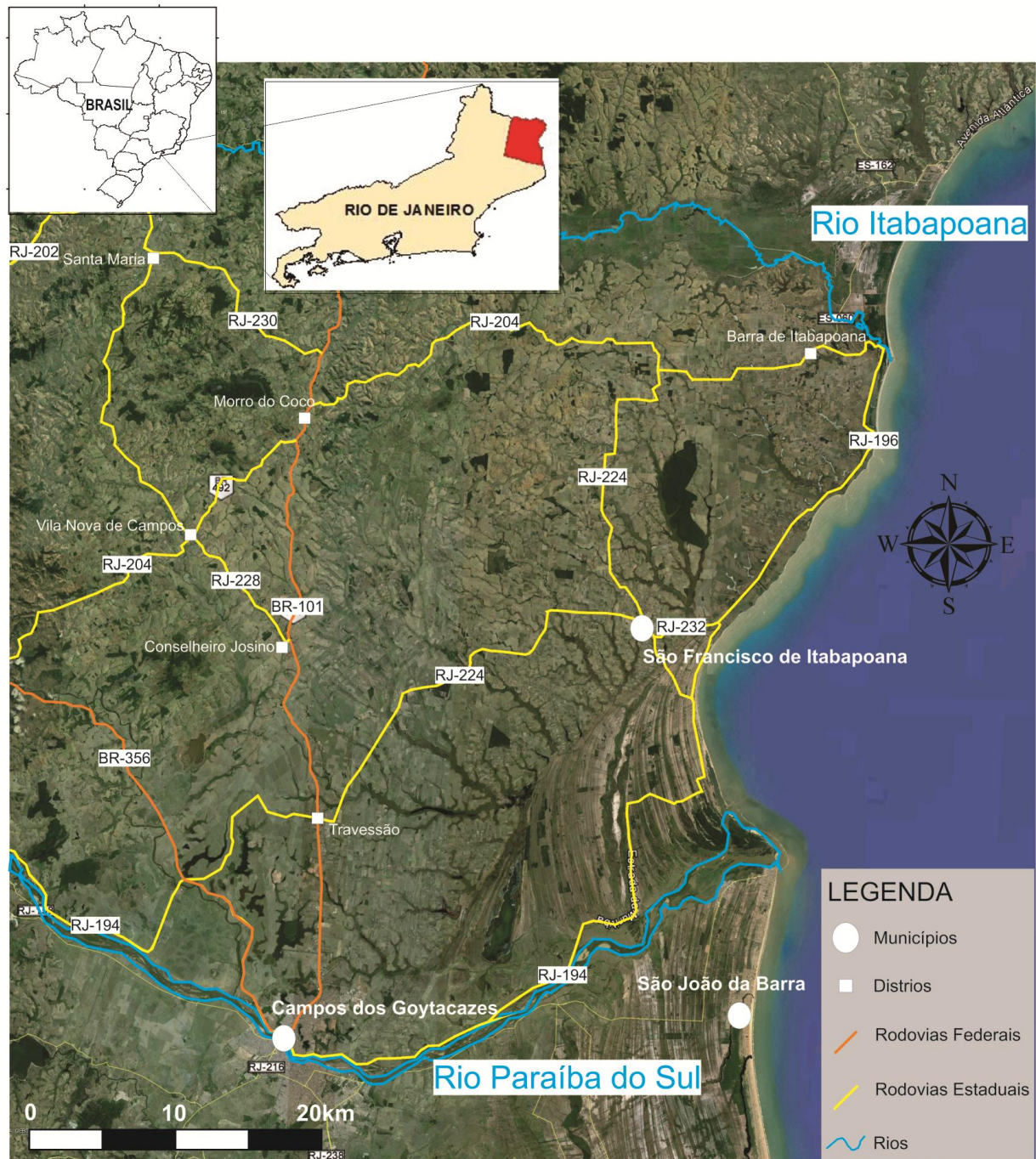
Com base no estudo realizado, buscou-se a correlação das informações obtidas com os eventos tectônicos já propostos em diferentes áreas do sudeste do Brasil.

## **3- ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1 Localização e acessos**

Localizada na região costeira norte do estado do Rio de Janeiro, mais precisamente entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana, a área de estudo consiste na principal área de ocorrência da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro, englobando parte dos municípios de Campos dos Goytacazes e Cardoso Moreira, e o município de São Francisco do Itabapoana.

A principal via de acesso para a região é a rodovia federal BR-101, que cruza a área de norte a sul (Figura 3.1). Há também estradas secundárias, como a RJ-224, que liga o distrito de Travessão (Campos dos Goytacazes) ao extremo norte de São Francisco de Itabapoana, além da RJ-228, entre os distritos de Conselheiro Josino e Santa Maria. Além dessas, há outras estradas menores, inclusive algumas sem pavimentação, que cobrem basicamente a totalidade da área.



**Figura 3.1:** Localização da área de estudo e principais vias de acesso. Imagens *Google Earth* (2015).

### 3.2 Geomorfologia

De acordo com Dantas (2000), o estado do Rio de Janeiro é compartimentado em duas Unidades Morfoestruturais principais: Cinturão Orogênico do Atlântico e Bacias Sedimentares Cenozoicas. Essas unidades são subdivididas em Unidades Morfoesculturais, que, por sua vez, são diferenciadas pelos Sistemas de Relevo Principais, além dos Sistemas de Relevo Subordinados (Figura 3.2; Tabela 3.1).





## SISTEMAS DE RELEVO

### RELEVOS DE AGRAÇÃO

#### LITORÂNEOS

- Planícies Costeiras
- Planícies Flúvio-Lagunares
- Planícies Colúvio-Alúvio-Lagunares

### RELEVOS DE DEGRADAÇÃO

#### RELEVOS DE DEGRADAÇÃO SOBRE DEPÓSITOS SEDIMENTARES

- Tabuleiros

#### RELEVOS DE DEGRADAÇÃO EM PLANALTOS DISSECADOS OU SUPERFÍCIES APLAINADAS

- Domínio Suave Colinoso
- Domínio Colinoso (zona típica do domínio de "mar de morros")
- Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
- Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais

#### RELEVOS DE DEGRADAÇÃO EM ÁREAS MONTANHOSAS

- Maciços Costeiros e Interiores
- Escarpas Serranas

**Figura 3.2:** Mapa geomorfológico do estado do Rio de Janeiro (Dantas, 2000), na porção da área do presente estudo.



**Tabela 3.1:** Divisão geomorfológica do Estado do Rio de Janeiro de acordo com Dantas (2000).

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Sistema de Relevo Principais	Sistema de Relevo Subordinados
Cinturão Orogênico do Atlântico	Maciços Costeiros e Interiores	Maciços Costeiros e Interiores	Alinhamentos Serranos Isolados e “Pães-de-Açúcar”
	Maciços Alcalinos Intrusivos	Maciços Alcalinos Intrusivos	
	Superfícies Aplainadas nas Baixadas Litorâneas	Domínio Suave Colinoso	Planícies Aluviais
			Colinas Isoladas
			Morrotes e Morros Baixos Isolados
			Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
	Escarpas Serranas	Escarpas Serranas	Escarpas Serranas Degradadas e Degraus em Borda de Planaltos
	Planaltos Residuais	Domínio de Morros Elevados	Domínio Suave Colinoso
			Domínio Colinoso
			Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
		Domínio Montanhoso	Escarpas Serranas Degradadas e Degraus em Borda de Planaltos
	Depressões Interplanálticas	Domínio Suave Colinoso	Planícies Aluviais
		Domínio Colinoso	Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
			Planícies Aluviais
	Depressões Interplanálticas com Alinhamentos Serranos Escalonados	Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais	Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos
Bacias Sedimentares Cenozoicas	Tabuleiros de Bacias Sedimentares Cenozoicas	Tabuleiros	Planícies Aluviais
	Planícies Flúvio-Marinhas	Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas (Baixadas)	Planícies Aluviais
			Planícies Costeiras
		Planícies Flúvio-Marinhas (Mangues)	Colinas Isoladas
			Morrotes e Morros Baixos Isolados
		Planícies Flúvio-Lagunares	Alinhamentos Serranos Isolados e “Pães-de-Açúcar”
	Planícies Costeiras	Planícies Costeiras	Planícies Flúvio-Lagunares

Os sistemas de relevo presentes na área de estudo, conforme Dantas (2000), são descritos a seguir, divididos a partir de suas unidades morfoestruturais:

#### **- Cinturão Orogênico do Atlântico**

a) **Domínio Suave Colinoso:** consiste em um relevo de colinas muito pouco dissecadas, com densidade de drenagem baixa a média e padrão variável, desde dendrítico a treliça ou retangular. As colinas possuem vertentes convexas e topos arredondados ou alongados, com expressiva presença de depósitos coluviais e aluviais. Sua amplitude topográfica é baixa, com até 50m, e gradientes muito suaves.

b) **Domínio Colinoso:** consiste na zona típica do domínio de “mar de morros” e possui relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou alongados, com sedimentação de colúvios e alúvios. Morrotes alinhados e morros baixos ocorrem subordinadamente às colinas e o padrão de drenagem da área é variável, de dendrítico a treliça ou retangular. A amplitude topográfica é inferior a 100m e possui gradientes suaves.

c) **Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos:** possui relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados e/ou alongados; ocorrem também morrotes e morros dissecados, com vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação associada de colúvios e alúvios. A densidade de drenagem é relativamente alta, possuindo um padrão de drenagem variável, de dendrítico a treliça ou retangular. A amplitude topográfica varia entre 100 e 200m, com gradientes suaves a médios.

d) **Alinhamentos Serranos e Degraus Estruturais:** sistema de relevo caracterizado por patamares litoestruturais, com vertentes retilíneas a côncavas e escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou subarredondados, destacando-se topograficamente do domínio colinoso. A densidade de drenagem é alta, com padrão variável, de paralelo a dendrítico. A topografia possui uma grande amplitude, entre 300 e 700m e gradientes médios a elevados. Ocorrem depósitos de colúvios e de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

e) **Maçios Costeiros e Interiores:** relevo montanhoso, extremamente acidentado, situado em meio às baixadas e planícies costeiras, ou em meio ao domínio colinoso, no caso dos maços interiores. As vertentes são predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas, com topos de cristas alinhadas, aguçados ou pouco arredondados. Possui uma densidade de drenagem

muito alta, com padrão de drenagem variável, de paralelo a dendrítico, principalmente centrífugo. A amplitude topográfica é superior a 300m e seus gradientes muito altos. Ocorrem depósitos de colúvio e de tálus, solos rasos e afloramentos de rocha.

#### **- Bacias Sedimentares Cenozoicas**

a) **Planícies Costeiras:** envolvem os Terrenos Arenosos de Terraços Marinhos, Cordões Arenosos e os Campos de Dunas. São superfícies subhorizontais, com microrrelevo ondulado apresentando amplitude topográfica inferior a 20m, formadas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. Consistem em terrenos com alta densidade de drenagem, com padrão paralelo, que acompanham as depressões intercordões.

b) **Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas:** correspondem aos Terrenos Argilo-Arenosos das Baixadas, caracterizados por superfícies subhorizontais, com gradientes extremamente suaves, que convergem com a linha de costa, de interface com os Sistemas Depositionais Continentais e Marinhos. São terrenos mal drenados, com padrão de canais meandrante e divagante. Há também a presença de superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das Baixadas.

c) **Planícies Flúvio-lagunares:** consistem nos Terrenos Argilosos Orgânicos de Paleolagunas Colmatadas, caracterizadas por superfícies planas, com interface entre os Sistemas Depositionais Continentais e Lagunares. São áreas muito mal drenadas, com lençol freático subaflorante.

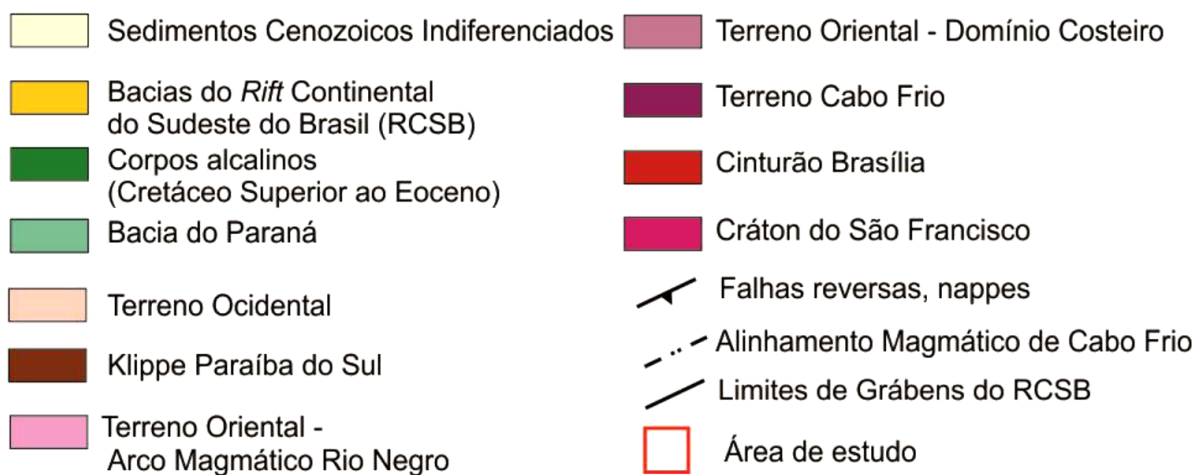
d) **Tabuleiros:** formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de colinas tabulares ou extremamente suaves, topos planos e alongados e vertentes retilíneas em vales encaixados em “forma de U”, produtos de dissecação fluvial recente. A amplitude topográfica é predominantemente inferior a 50m, com gradientes muito suaves e densidade de drenagem muito baixa, onde o padrão de drenagem é paralelo. Associadamente ocorre sedimentação de colúvios e alúvios.

### 3.3 Geologia Regional

A área de estudo está situada no segmento central da Província Mantiqueira, a leste do Cráton do São Francisco, fazendo parte da Faixa Ribeira. Esta foi originada durante o Ciclo Brasileiro, no Neoproterozoico/Eopaleozoico, e corresponde a uma faixa de dobramentos formada a partir da amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental, onde ocorreram sucessivas colisões entre microplacas, placas tectônicas e arcos de ilhas (Heilbron *et al.*, 2004).

A Faixa Ribeira, ou Orógeno Ribeira, possui um *trend* estrutural principal NE-SW e compreende quatro terrenos tectonoestratigráficos, divididos por zonas de cisalhamento: Cabo Frio, Oriental, Paraíba do Sul e Ocidental. Os três últimos foram amalgamados entre 605 e 580 Ma, enquanto o Terreno Cabo Frio apenas no Cambriano (520 Ma) - Tupinambá *et al.* (2007). A área de estudo está inserida no Terreno Oriental (no Domínio Costeiro) - Figura 3.3.

Pode-se dividir a área em dois conjuntos geológicos principais: o embasamento pré-cambriano, constituído por complexos gnaissicos e suítes intrusivas; e as áreas sedimentares cenozoicas, compostas por depósitos sedimentares da Formação Barreiras e pelas planícies quaternárias. Comparando-os à geomorfologia da área, o primeiro conjunto geológico caracteriza a Região Serrana, superfícies aplainadas e os planaltos dissecados; e o segundo associa-se aos Tabuleiros e às Planícies Quaternárias.

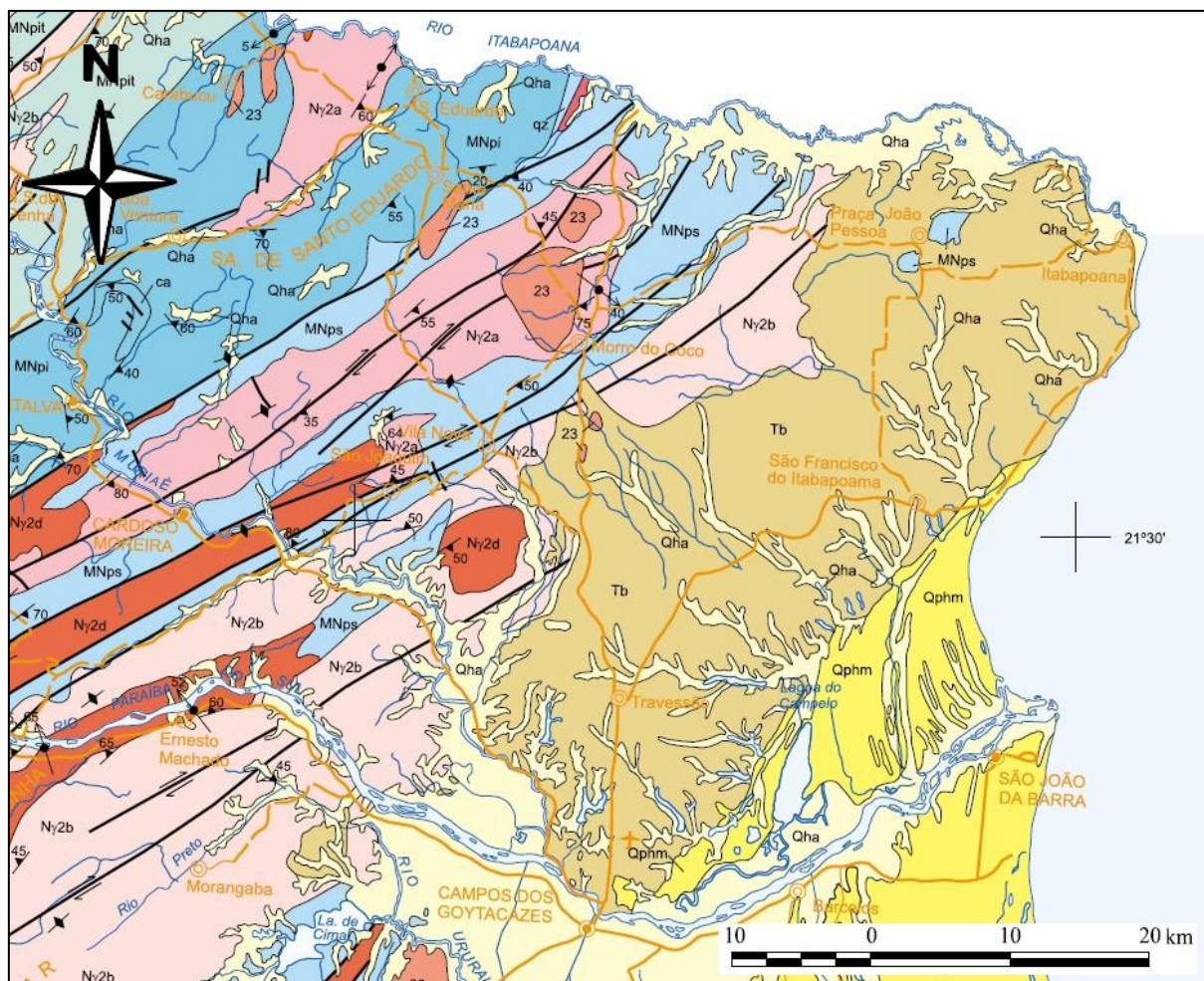


**Figura 3.3:** Mapa tectônico da região Sudeste do Brasil, segundo Riccomini *et al.* (2004).

### 3.3.1 Embasamento pré-cambriano

#### 3.3.1.1 Complexos Gnaissicos (Meso-Neoproterozoico)

De acordo com Silva & Cunha (2001), os complexos gnaissicos que ocorrem na área são representados pelas unidades São Fidélis e Itatiaia (Figura 3.4).



#### Legenda

	SIGLA		Contato litológico
Cenozoico	Quaternário	Qha Depósitos Colúvio-Aluvionares	Falha/ zona de cisalhamento
		Qphm Depósitos Marinhos e Flúvio-Marinhos	Falha transcorrente dextral/ zona de cisalhamento
		Tb Formação Barreiras	Foliação vertical e inclinada
Paleozoico	Cambriano	ey5 (23) Granitoide Pós-Tectônico (Granito Morro do Coco)	Lineação de estiramento horizontal e inclinada
Neoproterozoico		Ny2a Suíte Angelim (Granitos)	CAPITAL DO ESTADO
		Ny2b Suíte Bela Joana (Granito)	CIDADE
		Ny2d Suíte Desengano (Granito)	Vila
Meso/Neoproterozoico		MNps Complexo Paraíba do Sul (Gnaisses)	Estrada pavimentada
		Mnpi Unidade Itálva (Metacalcários)	Estrada sem pavimentação
			Curso de água
			Lagoa

**Figura 3.4:** Mapa geológico da área de estudo (Silva & Cunha, 2001).



A Unidade São Fidélis é representada principalmente por metassedimentos detríticos, pelito-grauvaqueanos: granada-biotita-sillimanita gnaisses quartzo-feldspáticos (metagrauvacas), com bolsões e veios anatéticos *in situ* ou injetados a partir de fusão parcial granítica. Frequentemente, ocorrem ainda intercalações de gnaisses calcissilicático, quartzito e rochas metacarbonáticas. Ocorrem ainda variedades magnesíferas, com cordierita e sillimanita (kinzigito) com contatos transicionais com o granada-biotita gnaisses.

A Unidade Italva, por sua vez, é produto de alto grau de metamorfismo de sedimentos químicos marinhos. É caracterizada por metacalcários dolomíticos e calcílicos, mármore com granulação grossa, intercalados com granada-biotita-sillimanita gnaisses quartzo-feldspáticos e quarto-anfibólio-clinopiroxênio gnaisses (rochas calcissilicáticas).

### 3.3.1.2 Suítes Intrusivas (Neoproterozoico)

Segundo Silva & Cunha (2001), são identificados na área de estudo granitoides neoproterozoicos sin a tardicolisionais, relacionados às suítes Desengano, Bela Joana e Angelim.

A Suíte Desengano é caracterizada por granitos do tipo-S, com granada, muscovita e biotita, com granulação grossa, textura granoblástica e porfirítica, além de domínios charnockíticos locais, com granada e ortopiroxênio. São rochas relativamente heterogêneas, devido à presença de xenólitos e restitos de paragneisses parcialmente fundidos (migmatitos de injeção). Apresenta uma foliação milonítica sobreposta à textura magmática, associada a um regime transpressivo dextral, com direção NE-SW.

A Suíte Bela Joana representa granitos, formados por granada-hornblenda-clinopiroxênio-ortopiroxênio charnockito, com granulação média a grossa, textura magmática porfirítica, com fenocristais euédricos de feldspato. São frequentemente cortados por uma segunda geração de leucogranitos S (leptinitos).

A Suíte Angelim, por sua vez, consiste em rochas tonalíticas, sendo comuns as fácies biotíticas e hornblenda-biotíticas. São encontradas também rochas graníticas do tipo S e granodioríticas. Podem apresentar-se milonitizados, especialmente nos contatos com o Complexo Paraíba do Sul.

#### 3.3.1.3 Granitoide pós-tectônico

Segundo Silva & Cunha (2001), o Granito Morro do Coco consiste em um dos produtos finais da granitogênese brasileira, ocorrendo principalmente na forma de corpos tabulares, diques e *stocks*, que cortam as rochas regionais. São caracterizados por rochas granitoides do tipo-I, ricas em hornblenda e biotita, com granulação fina a média e textura preferencialmente porfirítica.

### 3.3.2 *Sedimentação Mesozoica-Cenozoica*

As unidades sedimentares aflorantes na área (Formação Barreiras e depósitos quaternários) estão situadas na porção emersa da Bacia de Campos, no topo de sua coluna estratigráfica.

#### 3.3.2.1 Bacia de Campos

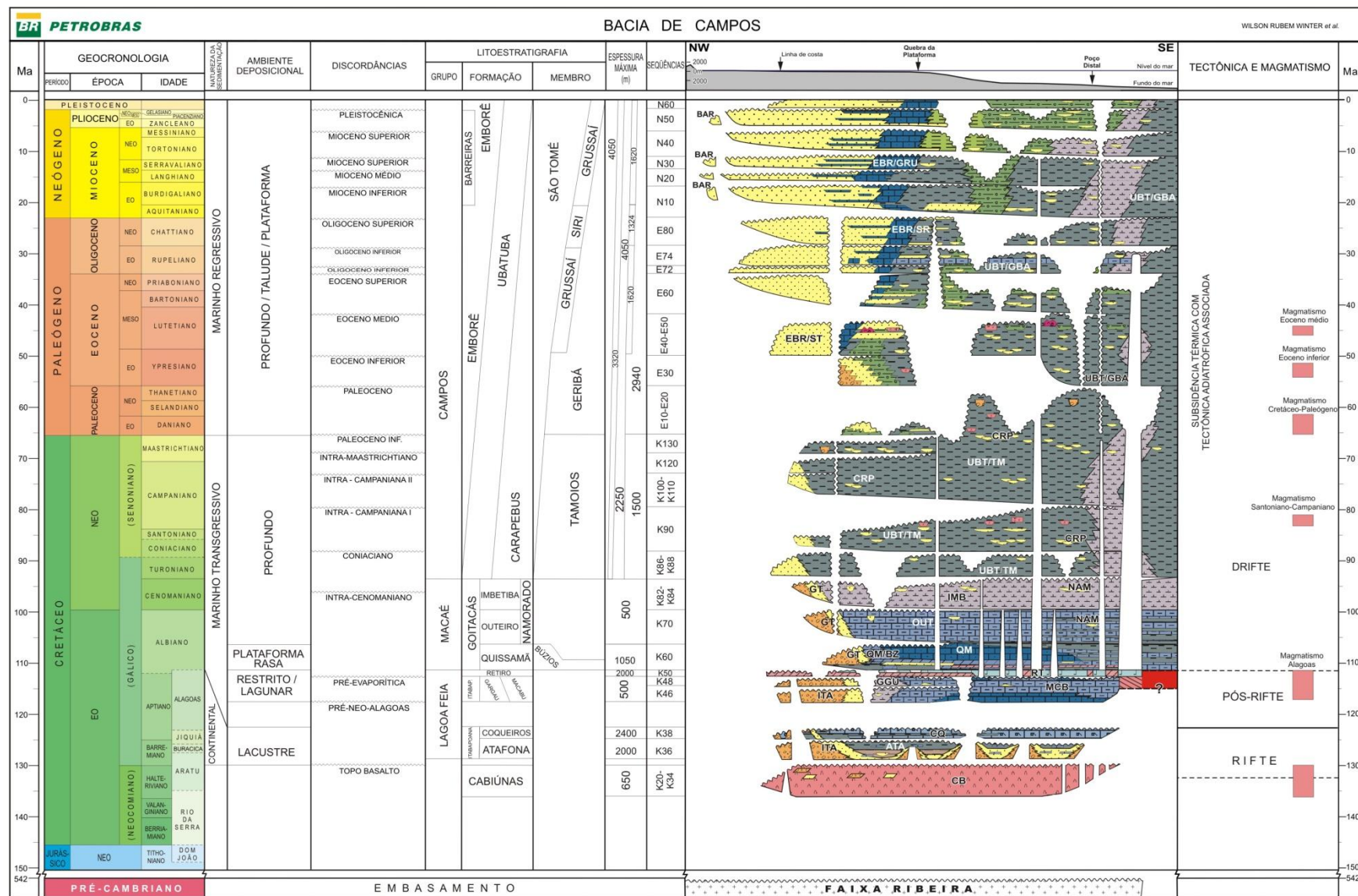
Com uma dimensão total de aproximadamente 100.000 km<sup>2</sup>, a Bacia de Campos detém grandes reservas petrolíferas, sendo umas das mais importantes economicamente dentre as bacias sedimentares brasileiras. Devido a este grande interesse, a bacia é amplamente estudada. A proposta estratigráfica mais recente para esta bacia é de Winter *et al.* (2007), que a dividem em três fases tectônicas principais (Figura 3.5): Rifte, Pós-Rifte e Drifte.

A sedimentação da Fase Rifte ocorreu do Hauteriviano até o início do Aptiano, associando-se a sedimentos continentais (conglomerados, arenitos, siltitos e folhelhos avermelhados e carbonatos lacustres) sobre os basaltos da Formação Cabiúnas (Winter *et al.*, 2007).

A Fase Pós-Rifte ocorreu no final do Aptiano, com a sedimentação em um ambiente transicional, desde lagunar até marinho restrito (Winter *et al.*, 2007).

Na Fase Drifte, desde o Albiano até o Recente, há sedimentação associada a ambientes que variam desde plataformas rasas até marinho profundo, onde podem ser observados episódios transgressivos e regressivos. No Cenozoico, a tendência principal observada é regressiva (Winter *et al.*, 2007).



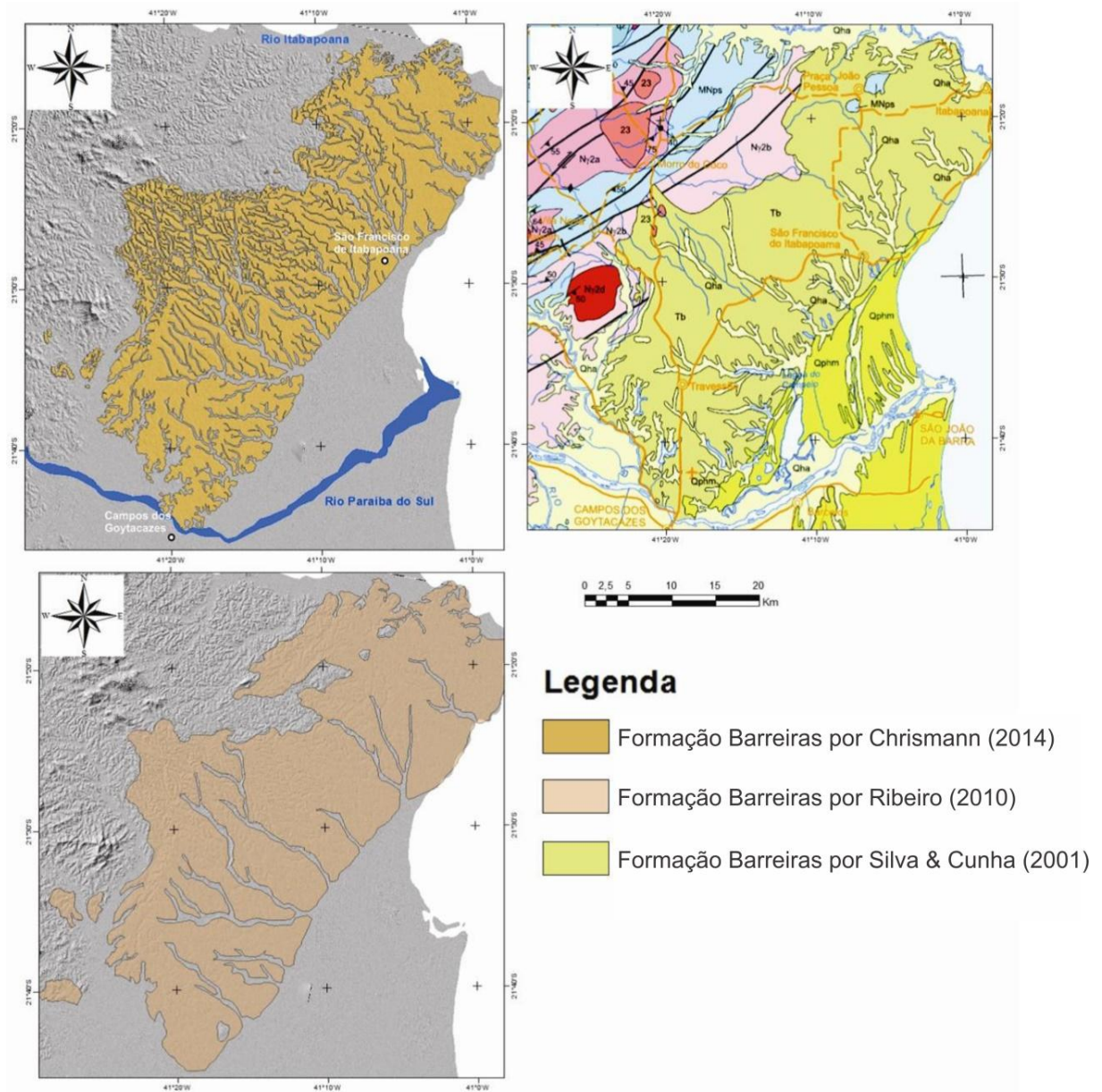


### 3.3.2.2 Formação Barreiras

A Formação Barreiras, de idade miocênica-pliocênica, estende-se ao longo da costa brasileira, desde o Rio de Janeiro até o Amapá, sendo na maioria das vezes observada na forma de tabuleiros e falésias.

Segundo Moraes (2001) e Moraes et al. (2006), a Formação Barreiras no norte do estado do Rio de Janeiro corresponde a depósitos continentais, relacionados a um ambiente fluvial entrelaçado distal, com presença local de depósitos de fluxos gravitacionais. É composta por arenitos maciços ou com estratificação cruzada acanalada, intercalados com lamitos, apresentando intervalos conglomeráticos. Esses depósitos são caracteristicamente ferruginizados. Atividades tectônicas sin e pós-deposicionais são descritas por Moraes (2001), que observou desníveis nas costras ferruginosas, deslocamentos de camadas e falhas normais NE-SW e NW-SE afetando alguns depósitos.

A maior parte dos mapas geológicos do estado do Rio de Janeiro mostra uma grande diferença na identificação dos contornos da Formação Barreiras, provando haver uma grande dificuldade de mapeamento da unidade. O mapa mais recente da área é de Chrismann (2014), feito em escala 1:25.000. Este mapa apresenta grandes diferenças em relação aos mapas de Silva & Cunha (2001) e Ribeiro (2010), apresentando maiores detalhes nos contornos (Figura 3.6).



**Figura 3.6:** Comparação entre os mapas de Chrismann (2014, escala 1:25.000), Ribeiro (2010, escala 1:250.000) e Silva & Cunha (2001, escala 1:500.000). Modificado de Chrismann (2014).

### 3.3.2.3 Sedimentação Quaternária

As unidades quaternárias incluem depósitos de terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, depósitos lagunares holocênicos e depósitos continentais holocênicos (Martin *et al.*, 1997).

Os depósitos em feições de terraços marinhos pleistocênicos ocorrem nas porções mais internas da planície costeira, sendo caracterizados por sedimentos arenosos brancos em superfícies e mais escuro em profundidade (produtos de impregnação de matéria orgânica), com estratificação cruzada de baixo ângulo e estratificação do tipo espinha-de-peixe.

Os terraços marinhos holocênicos ocorrem bem desenvolvidos na planície costeira da desembocadura do rio Paraíba do Sul, em forma de cordões litorâneos, mais próximos entre si em relação aos terraços pleistocênicos. São depósitos compostos por areias brancas, com granulometria média a grossa e baixa coesão, podendo conter grande quantidade de conchas.

Os depósitos lagunares holocênicos (paleolaguna) são associados à invasão marinha durante a última transgressão marinha, com máximo em 5100 anos. Separam os terraços marinhos e são compostos por siltes e areias argilosos, ricos em matéria orgânica e conchas de moluscos.

Os depósitos continentais holocênicos são sedimentos arenosos e argilo-arenosos e caracterizam-se por serem produtos da sedimentação fluvial que preenche os paleocanais e cursos inferiores de alguns rios da área, ocorrendo também na desembocadura do rio Paraíba do Sul. São classificados como depósitos aluviais e coluviais indiferenciados quando encontrados nos vales acima do limite atingido pela penúltima transgressão (123.000 anos atrás).

### 3.4 Neotectônica no Sudeste do Brasil

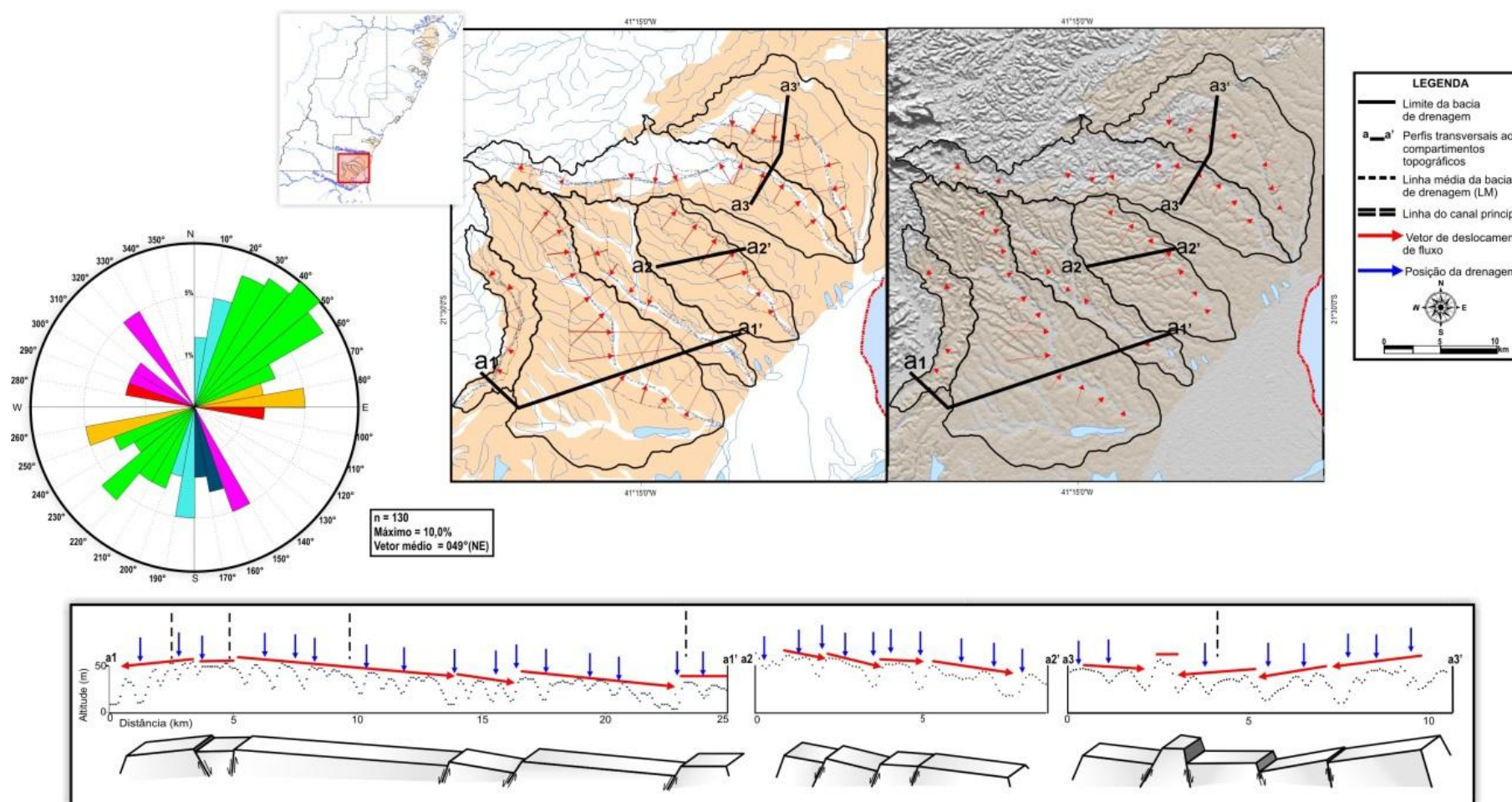
A definição básica de Neotectônica consiste no conjunto de movimentações tectônicas a partir do “Terciário final” ao Quaternário, que influencia na arquitetura das estruturas geológicas e das feições geomorfológicas contemporâneas (Obruchev, 1948 *in* Saadi, 1993). De acordo com Hasui (1990), os eventos neotectônicos no Brasil tem início no Mioceno médio (aproximadamente 12Ma), simultaneamente à primeira deposição da Formação Barreiras e do último pacote sedimentar nas bacias costeiras, ao fim do magmatismo em território brasileiro.

Riccomini *et al.* (2004) identificaram cinco fases tectônicas cenozoicas na evolução do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), principal feição geotectônica cenozoica do sudeste brasileiro: i) distensão NNW-SSE, de idade eocênica-oligocênica; ii) transcorrência sinistral E-W, de idade neogênica; iii) transcorrência dextral E-W, no intervalo temporal do Pleistoceno final ao Holoceno inicial; iv) distensão NW(WNW)-SE(ESE), de idade holocênica; e v) compressão E-W, associada à compressão atual da placa Sul-Americana. Apenas a primeira fase, de geração do RCSB, não é considerada como uma evolução neotectônica.

Tomaz (2003) descreveu registros estruturais encontrados nos depósitos da Formação Barreiras na porção adjacente à bacia de Campos, sendo provenientes de atividades neotectônicas. Esse tectonismo, segundo o autor, influencia inclusive na compartimentação morfológica da plataforma da bacia de Campos. Neste trabalho foram identificadas duas fases neotectônicas, que são correlacionadas aos eventos reconhecidos no RCSB: i) falhas normais NW-SE e WNW-ESE, com componente oblíquo dextral, associadas ao evento de transcorrência dextral pleistocênica (terceira fase de Riccomini *et al.*, 2004); ii) a falhas normais NE-SW e ENE-WSW, relacionadas ao evento de distensão NW-SE holocênica de Riccomini *et al.* (2004).

Ribeiro (2010) discute a influência de tectonismo cenozoico na distribuição atual da Formação Barreiras desde o rio Paraíba do Sul até o rio Doce, no norte do Espírito Santo. Esta autora, além de outros métodos, como organização da rede de drenagem e da variação altimétrica dos tabuleiros (Figura 3.7), utilizou-se de alguns métodos que também serão utilizados no presente estudo, como a análise de lineamentos topográficos e análise estrutural de dados de campo.



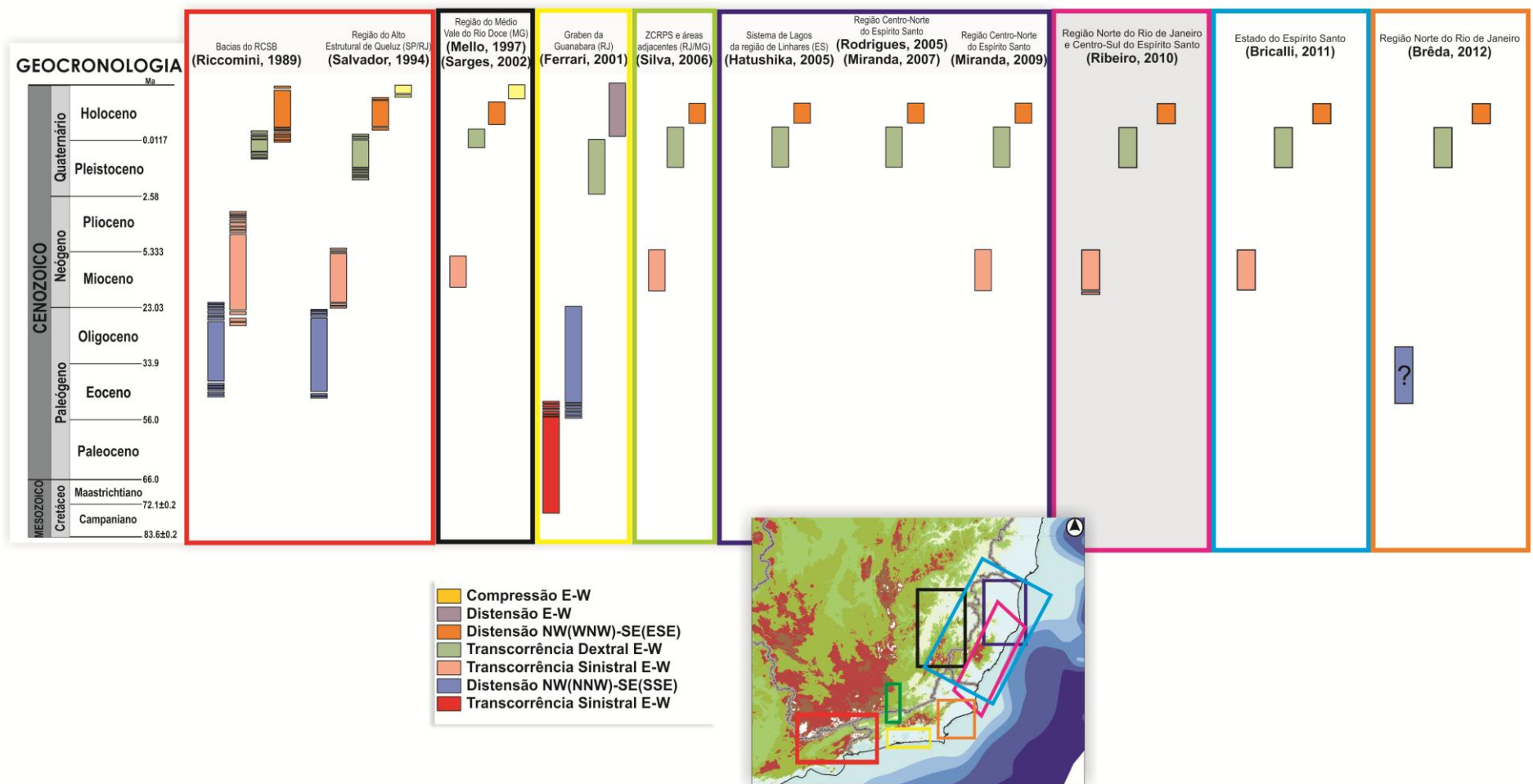


**Figura 3.7:** Mapa de organização da drenagem e MDE com a delimitação das bacias de quarta ordem sobre a Formação Barreiras na área de estudo e a demarcação dos parâmetros de assimetria de bacia; perfis com observação do padrão de escalonamento dos tabuleiros; e roseta de frequência das direções de vetores de deslocamento de fluxo (Ribeiro, 2010).

De acordo com Ribeiro (2010), há uma tendência de convergência da drenagem principal das bacias de 4ª ordem nos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras, sugerindo que esses blocos tenham sido tectonicamente rebaixados.

Os mecanismos neotectônicos foram importantes, não apenas condicionando o relevo, mas também na sedimentação cenozoica posterior. Foram identificadas três fases neotectônicas na área (Figura 3.8):

- a) falhas normais NE-SW, falhas dextrais NE-SW, e falhas sinistrais NE-SW e ESE-WNW, observadas apenas no embasamento saprolitizado e associadas ao evento de transcorrência sinistral E-W (segunda fase de Riccomini *et al.*, 2004). Foi admitida idade neogênica, pré-Formação Barreiras, podendo até mesmo serem oligocênicas (nesse caso, deixaria de ser considerado um evento neotectônico);
- b) falhas normais NW-SE a WNW-ESE, falhas transcorrentes dextrais NW-SE a WNW-ESE, NE-SW a ENE-WSW e E-W, falhas transcorrentes sinistrais NE-SW a NNE-SSW, NW-SE a NNW-SSE, encontradas no embasamento saprolitizado, na Formação Barreiras e nas coberturas sedimentares neogênicas. Estariam associadas ao evento de transcorrência dextral pleistocênica (terceira fase de Riccomini *et al.*, 2004);
- c) a falhas normais NE-SW a ENE-WSW e falhas normais E-W e WNW-ESE, com componente oblíquo sinistral, também afetando embasamento saprolitizado, Formação Barreiras, assim como a cobertura sedimentar neogênica. Foram relacionadas ao evento de distensão NW-SE holocênica de Riccomini *et al.* (2004).



**Figura 3.8:** Quadro dos eventos neotectônicos reconhecidos em diferentes áreas do Sudeste do Brasil (Brêda, 2012), com destaque para os eventos identificados por Ribeiro (2010).



## 4- METODOLOGIA

Para a confecção deste estudo, foram executadas duas atividades principais: confecção de mapa de lineamentos; e análise estrutural de pares de falhas/estrias, coletados em campo e também com base na reanálise de dados anteriormente apresentados por Ribeiro (2010).

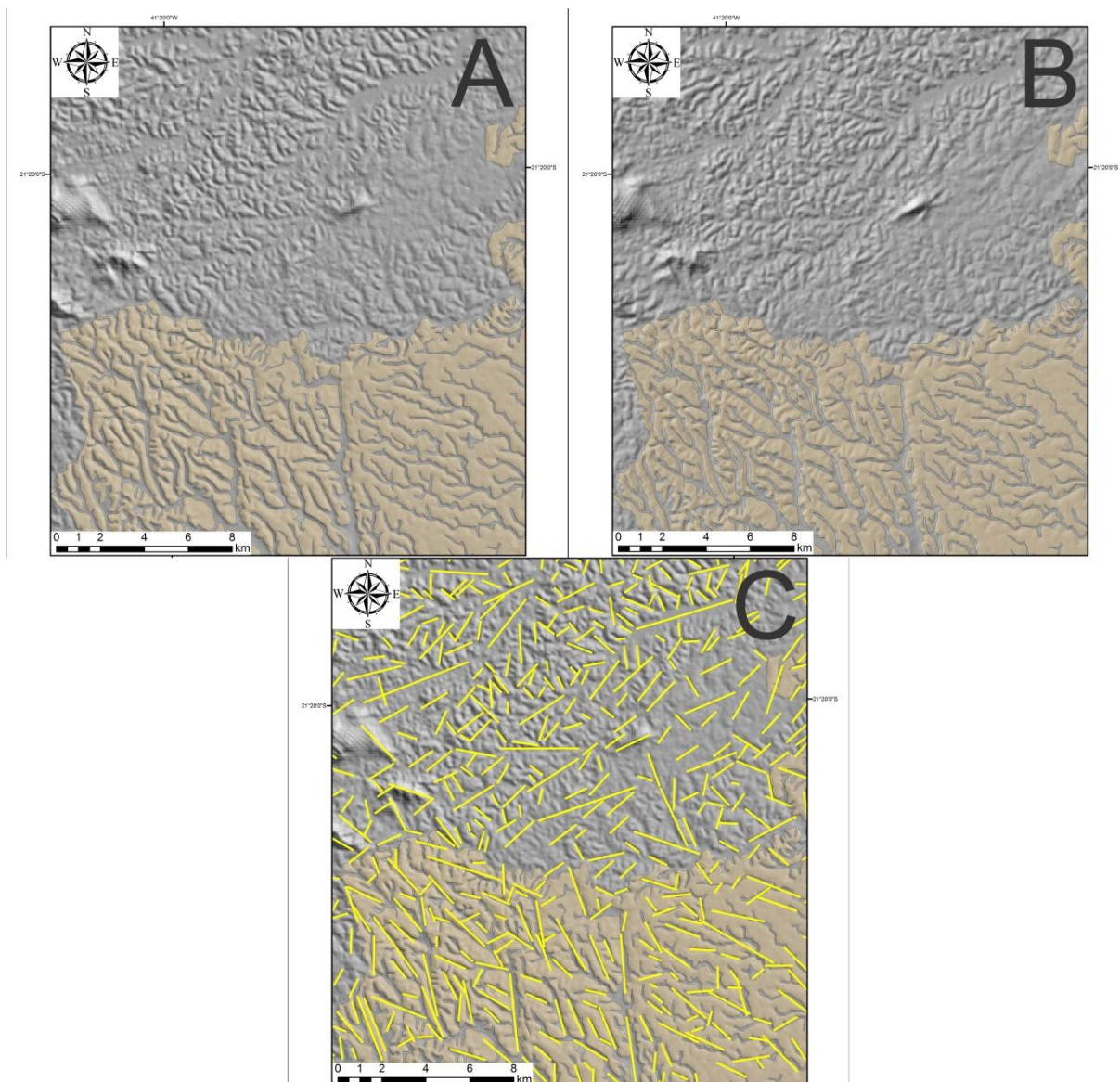
### 4.1 Análise de Lineamentos

A análise de lineamentos teve como base um modelo digital de elevação (MDE) produzido a partir de imagens de satélite ALOS, com alta resolução espacial, gentilmente cedido pela Dra. Sonia Maria Lima Silva. O MDE foi processado pelo programa *ArcGis 9.3* e foram produzidos *hillshades*, com azimutes de iluminação de 045° e 315°, e ângulo de incidência de 45°. A partir desse recurso, é possível visualizar o relevo, assim como padrões de drenagens e textura do terreno.

Lineamentos são feições lineares topográficas (como alinhamento de cristas, vales, linhas de costa, ravinas, trechos de rios), identificadas em imagem ou mapas, que podem indicar limites litológicos ou arranjo estrutural do terreno (O'Leary, 1976). Por isso, a análise de lineamentos ganha destaque no estudo de estruturas geológicas.

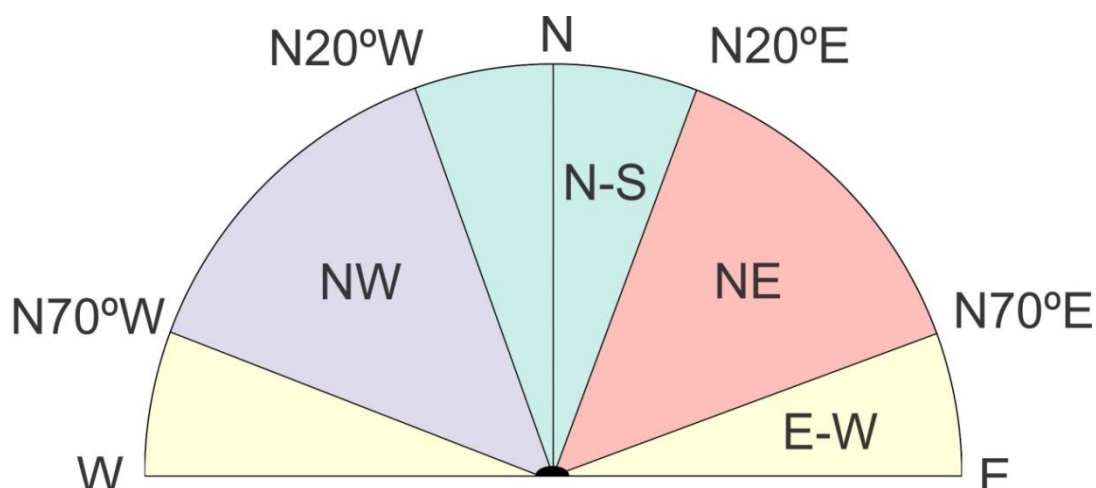
Para realizar a análise de lineamentos, foram utilizados os seguintes procedimentos descritos por Liu (1987): i) identificação e extração dos lineamentos no MDE; ii) classificação dos lineamentos com base em diferentes critérios – direção, frequência e comprimento; iii) confecção de mapa de lineamentos; e iv) análise e interpretação dos lineamentos.

A primeira etapa consistiu na extração manual de lineamentos, a partir dos *hillshades* gerados no *ArcGis 9.3* (Figura 4.1). A análise dos *hillshades* ocorreu de forma separada, sendo posteriormente gerado um mapa final, integrando as duas interpretações. O primeiro *hillshade*, com azimuth de iluminação 045°, favoreceu a visualização de lineamentos com orientação WNW-ESE, NW-SE e NNW-SSE, enquanto o segundo, com azimuth de 315°, ressaltou, preferencialmente, os lineamentos com orientação ENE-WSW, NE-SW e NNE-SSW.



**Figura 4.1:** Exemplo de como se extraíram os lineamentos em uma região da área de estudo, onde: A mostra o *hillshade* com azimuth de iluminação 045°; B representa o *hillshade* com azimuth de iluminação 315° e; C consiste no mapa de lineamentos integrados extraídos.

A partir da extração dos lineamentos, estes foram agrupados de acordo com os seguintes valores de rumo: a) N-S, com valores entre N20°W e N20°E; b) NE, entre N21°E e N70°E; c) E-W, com valores entre N71°E e N90°E e entre N90°W e N71°W; e d) NW, variando entre N21°W e N70°W. Cada um destes grupos de lineamentos recebeu uma cor diferente, para a melhor visualização do mapa e dos resultados gráficos (Figura 4.2). Na sequência, utilizou-se o programa *Oriana 4.0.2* para a geração de rosetas de frequência, de modo a se obter uma melhor visualização da distribuição dos lineamentos.



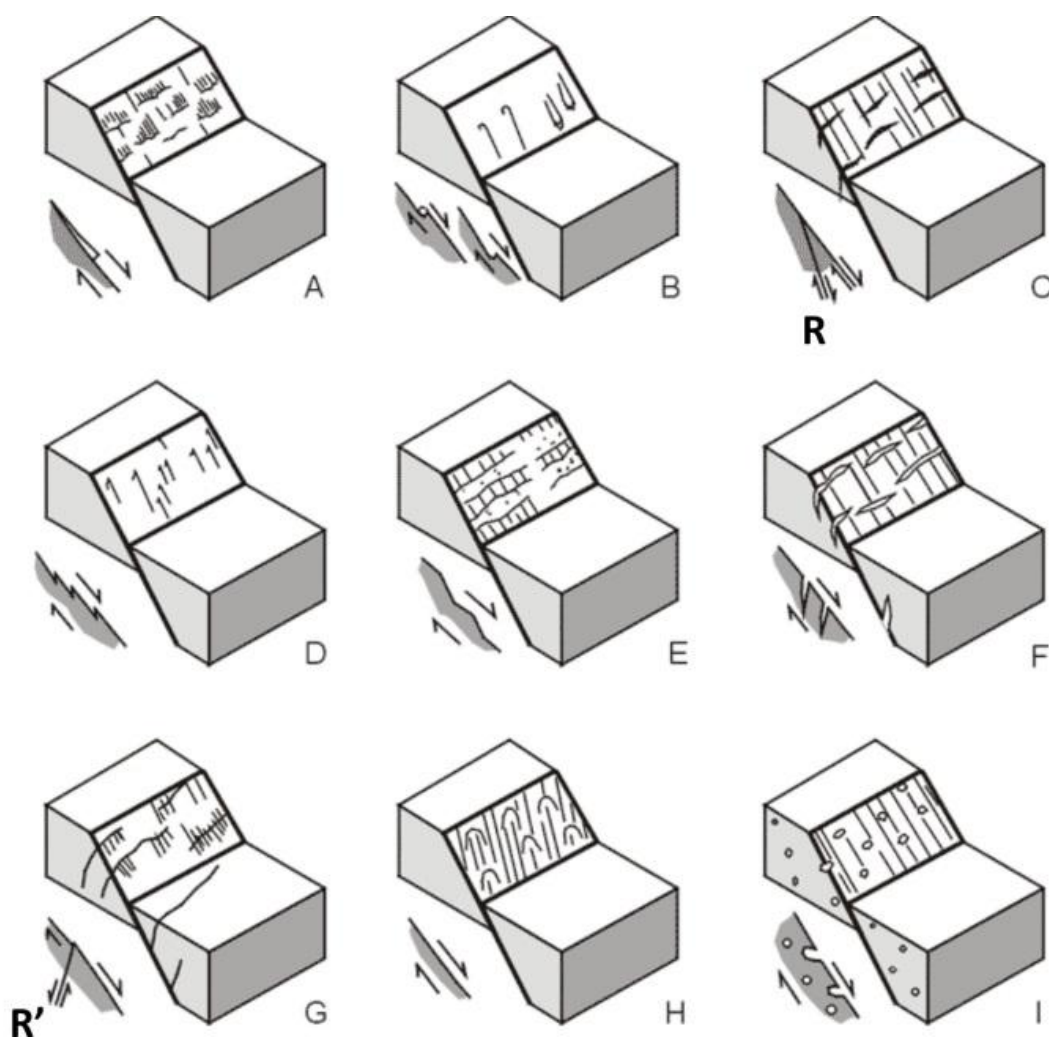
**Figura 4.2:** Roseta que representa as classes utilizadas para a classificação dos lineamentos.

## 4.2 Análise estrutural

A análise estrutural compõe a segunda principal atividade do presente estudo, com o objetivo foi identificar elementos estruturais que indicassem a deformação neotectônica da Formação Barreiras na área estudada.

Foram realizadas medições de pares de falhas/estrias que afetavam os depósitos da Formação Barreiras, além de coberturas sedimentares mais recentes e rochas do embasamento alteradas. Após a área de estudo ter sido extensamente percorrida, foram selecionados 06 (seis) afloramentos, definidos pela abundância de estruturas neotectônicas. Alguns dos pontos selecionados (MC-04, MC-05 e RM-16a) já haviam sido estudados por Ribeiro (2010), sendo reanalisados os dados estruturais anteriormente descritos. Nos pontos MC-CZ-01, MC-CZ-09 e MC-02 foram obtidos dados estruturais no presente estudo.

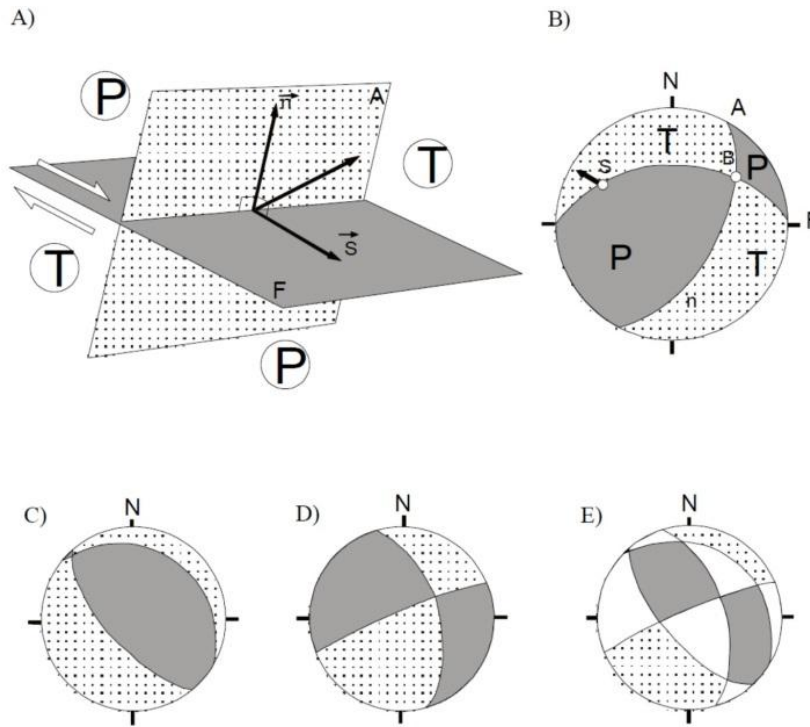
As falhas foram classificadas de acordo com tipo de falha (normal, reversa, sinistral ou dextral), orientação e unidade afetada. O sentido de deslocamento das falhas foi observado a partir da identificação de indicadores cinemáticos, sendo eles estratigráficos ou no plano de falha (Figura 4.3). Além de indicadores estratigráficos, as marcas de objetos (predominantemente grãos de quartzo), as marcas parabólicas e as facetas polidas e rugosas alternadas foram os principais indicadores cinemáticos utilizados.



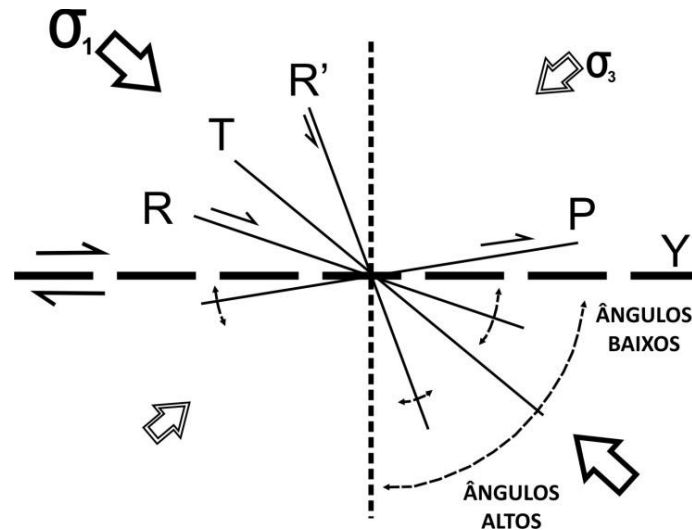
**Figura 4.3:** Tipos de indicadores cinemáticos em planos de falha que possibilitam a determinação do sentido de movimento ao longo do plano, segundo Angelier (1994 *in* Ribeiro, 2010). A) degraus de minerais neoformados; B) marcas de objetos; C) fraturas de cisalhamento sintéticas (R); D) picos estilolíticos; E) facetas polidas e rugosas alternadas; F) *tension gashes*; G) fraturas de cisalhamento antitéticas (R'); H) marcas parabólicas; e I) vesículas deformadas em lavas.

Utilizou-se, a seguir, o Método dos Diedros Retos (Figura 4.4) para tratar os dados estruturais e para a obtenção das paleotensões responsáveis pelas falhas. Nesta etapa, foram agrupadas as estruturas interpretadas como pertencentes ao mesmo campo de tensão (distensivo, compressivo ou transcorrente), com base no Modelo de Petit (Figura 4.5), a fim de classificar estruturas secundárias associadas a cisalhamento simples.

Para a otimização do processamento dos dados estruturais, utilizou-se o programa *Win-Tensor 5.0.2* (Delvaux, 2014), que gera os estereogramas com a indicação dos principais eixos de tensão ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ).



**Figura 4.4.:** Método dos diedros retos (Angelier, 1994). A) diedros de distensão (T) e compressão (P) definidos pela interseção do plano de falha (F) com o plano auxiliar (A), impostos pela tensão representada pelos seus componentes: normal ao plano de falha  $\langle n \rangle$  e tangencial  $\langle s \rangle$ . B) Projeções estereográficas dos planos F e A, onde B é a interseção dos dois, P indica os diedros compressivos e T os distensivos. C) Projeção estereográfica de falha normal e seu plano auxiliar, delimitando os campos compressivo e distensivo. D) Idem à anterior, para uma falha direcional. E) Superposição das projeções estereográficas das falhas representadas em C e D, mostrando áreas 100% compressivas (em cinza), 100% distensivas (pontilhadas), resultantes da coerência desses domínios em C e D, e áreas com 50% de cada (em branco), resultantes da superposição de domínios compressivos e distensivos.



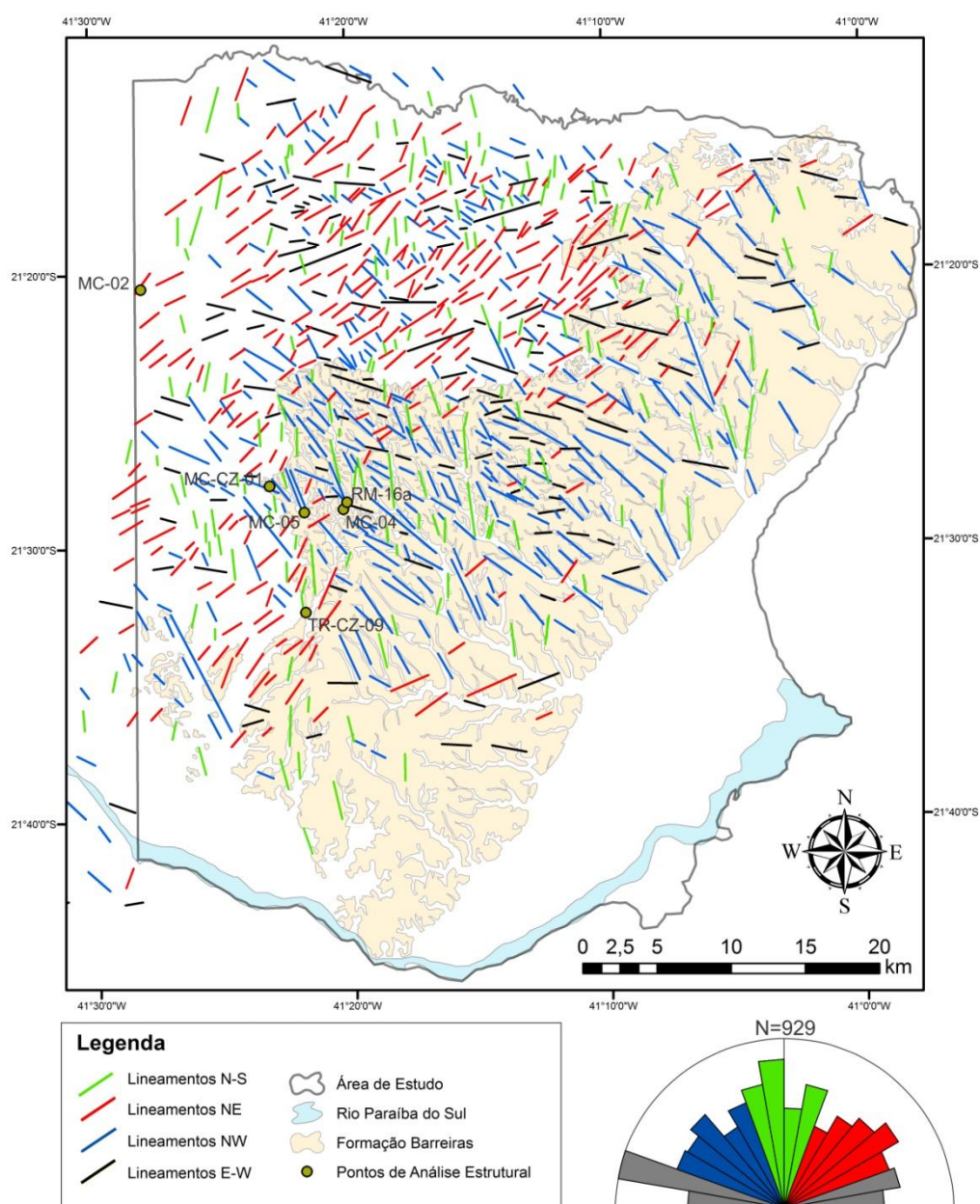
**Figura 4.5:** Terminologia para descrição de elementos de fraturas secundárias elementares em um contexto de cisalhamento simples (Petit, 1987).  $\sigma_1$ -eixo de tensão máxima;  $\sigma_3$ -eixo de tensão mínima; R-falha sintética; R'-falha antitética; T-falha normal; P-falha sintética de baixo ângulo; Y-falha de cisalhamento principal.



## 5- RESULTADOS

### 5.1 Padrões de Lineamentos

A análise de lineamentos a partir da interpretação do MDE gerou um total de 929 lineamentos na área (Figura 5.1 e Tabela 5.1), sendo 453 (~49%) lineamentos sobre a Formação Barreiras e 476 (~51%) sobre o embasamento regional. Uma simples observação geral do mapa de lineamentos permite perceber variações de rumos e concentração de lineamentos conforme estes dois domínios geológicos principais.

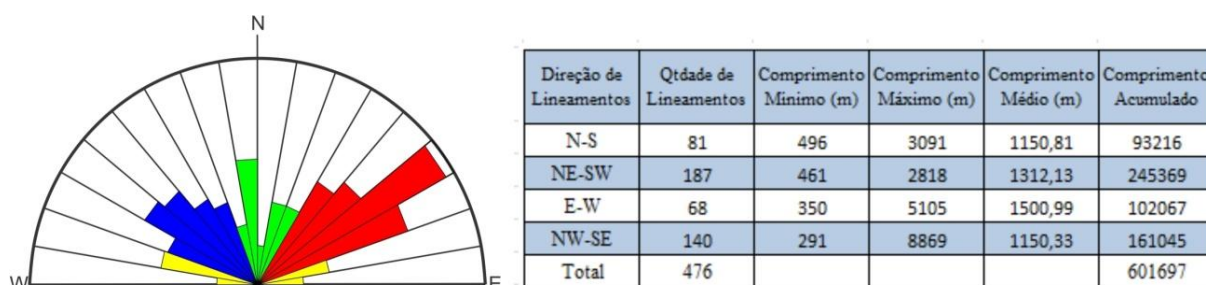


**Figura 5.1:** Mapa de lineamentos e roseta de frequência de lineamentos na área de estudo.

**Tabela 5.1:** Dados de lineamentos, tabelados de acordo com orientação, quantidade e comprimento.

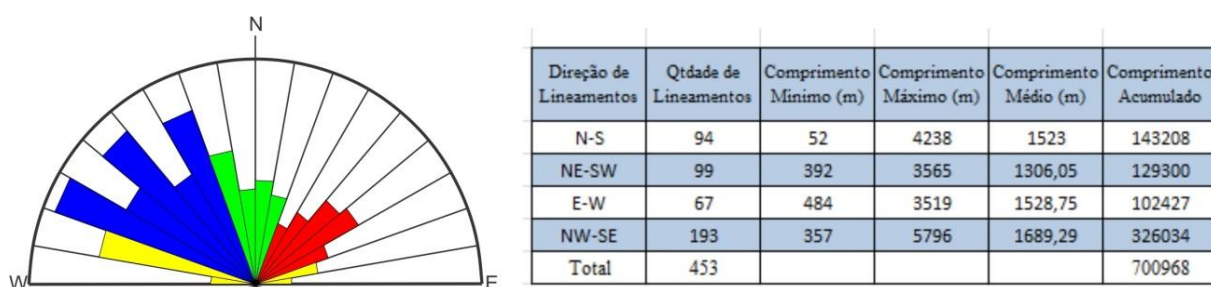
Direção de Lineamentos	Quantidade de Lineamentos	Comprimento Mínimo (m)	Comprimento Máximo (m)	Comprimento Médio (m)	Comprimento Acumulado
N-S	171	53	4.239	1.346,32	230.221
NE-SW	287	392	3.565	1.307,62	375.288
E-W	138	370	5.106	1.520,39	209.814
NW-SE	333	291	8.870	1.463,50	487.345
Total	929				1.302.668

Os padrões de lineamentos variam de acordo com a região em que estão situados, com maiores densidades de determinados *trends* de lineamentos de acordo com o domínio litológico e estrutural da área. Na região de domínio do embasamento, pode-se observar que lineamentos com orientação NE-SW ganham destaque (Figura 5.2), indicando a influência de estruturas antigas ali presentes, provavelmente reativadas. Os lineamentos foram classificados, de acordo com sua direção, em quatro *trends* principais, já descritos no item 4.1.



**Figura 5.2:** Roseta de frequência e tabela de dados dos lineamentos extraídos no domínio do Embasamento.

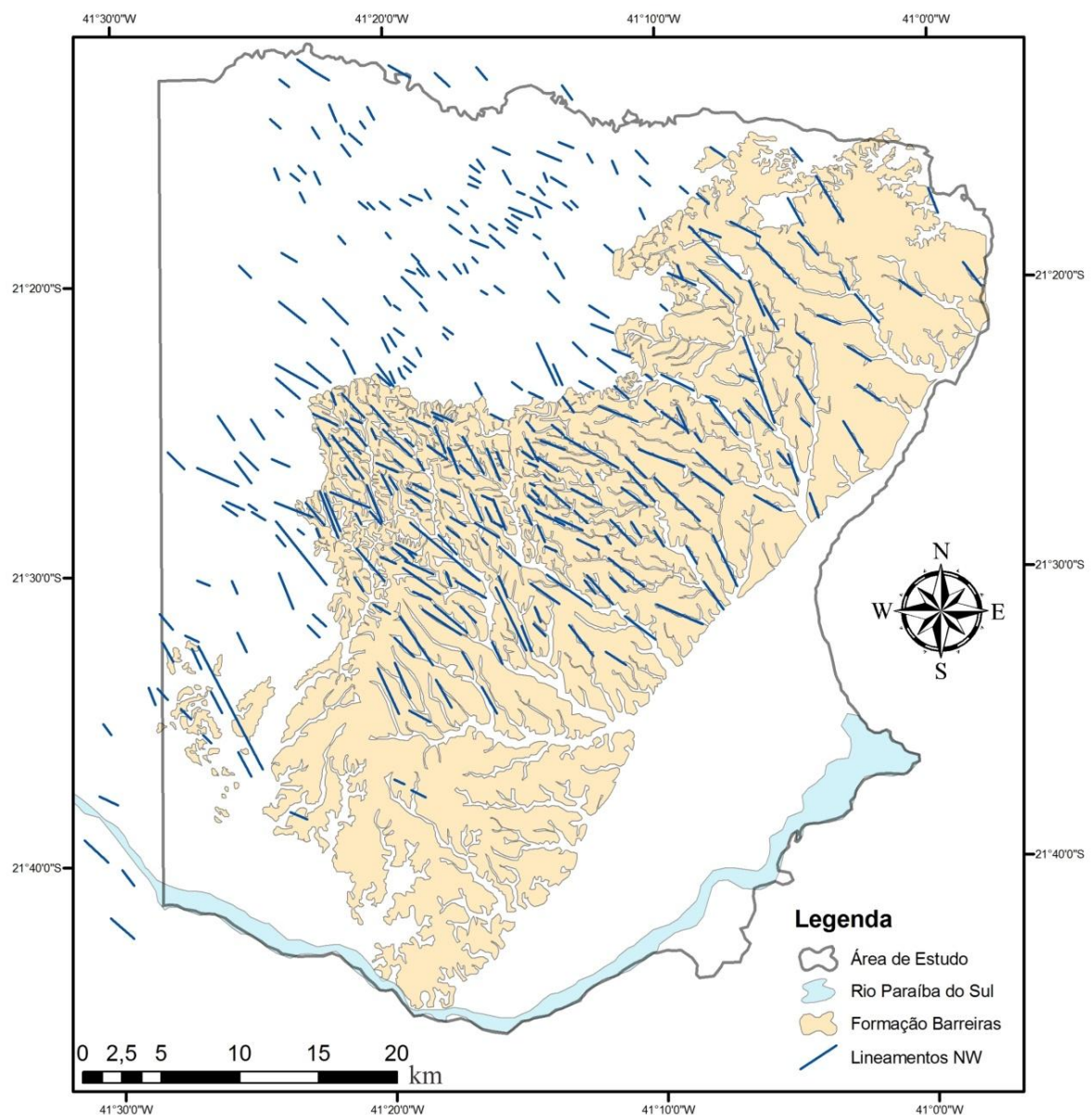
Já na região de predomínio da Formação Barreiras, há uma maior concentração de lineamentos NW-SE (Figura 5.3), sugerindo a atuação de estruturas rúpteis mais recentes com esta orientação.



**Figura 5.3:** Roseta de frequência e tabela de dados dos lineamentos extraídos no domínio da Formação Barreiras.

### 5.1.1 Classe NW-SE

Pode-se observar uma quantidade maior de lineamentos com direção NW-SE, com aproximadamente 36% do total de lineamentos (Tabela 5.1) inclusive em relação ao comprimento dos mesmos, com destaque para o intervalo N40-50W (Figura 5.1). Pode-se também observar a maior ocorrência dos lineamentos NW-SE no domínio da Formação Barreiras (Figura 5.4), onde a sua distribuição é relativamente homogênea, com uma predominância na porção central da área. Há outra faixa predominante na porção norte da área, onde os feixes segmentam lineamentos do *trend* NE-SW do embasamento.

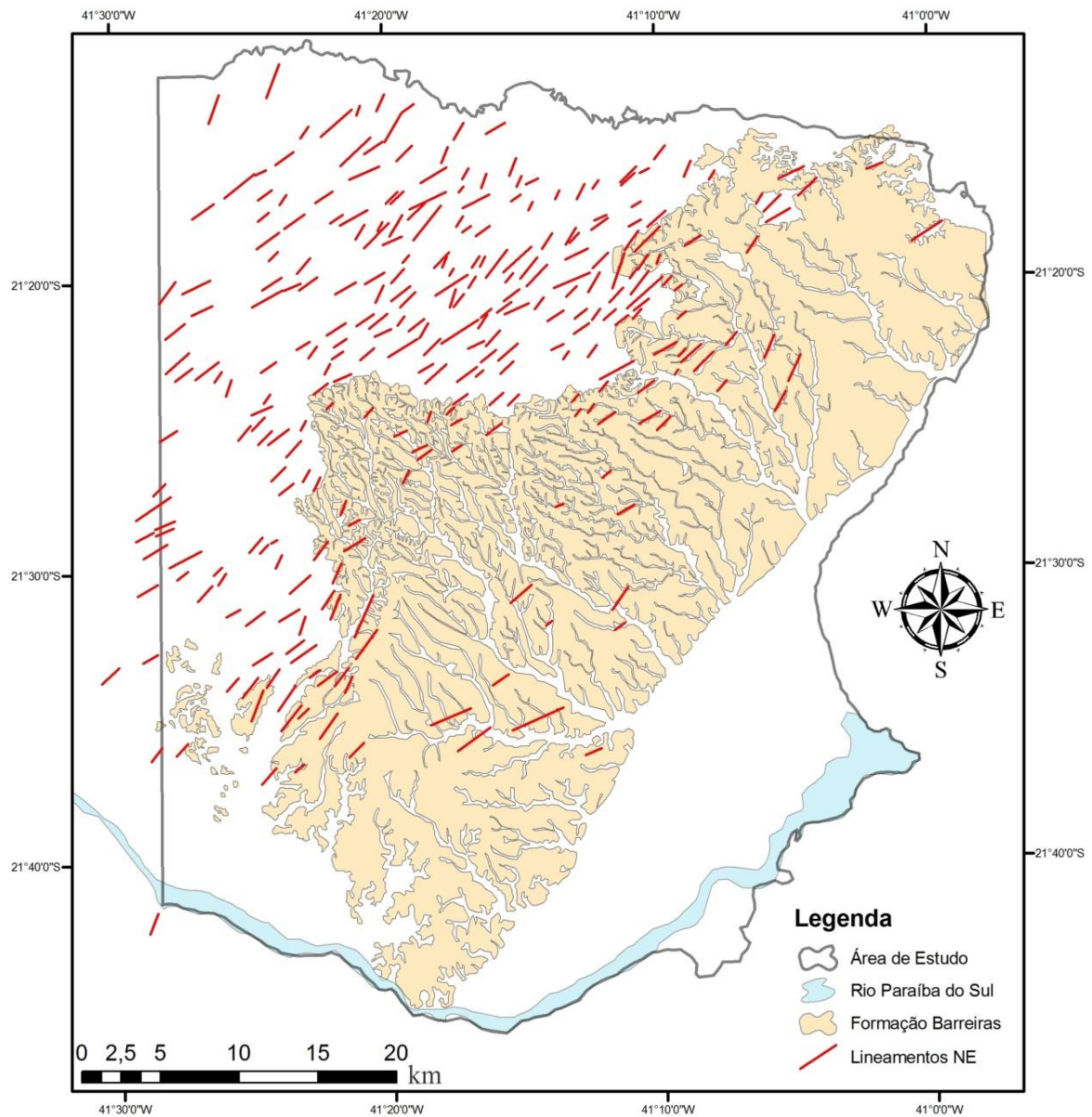


**Figura 5.4:** Mapa de lineamentos da classe NW-SE.



### 5.1.2 Classe NE-SW

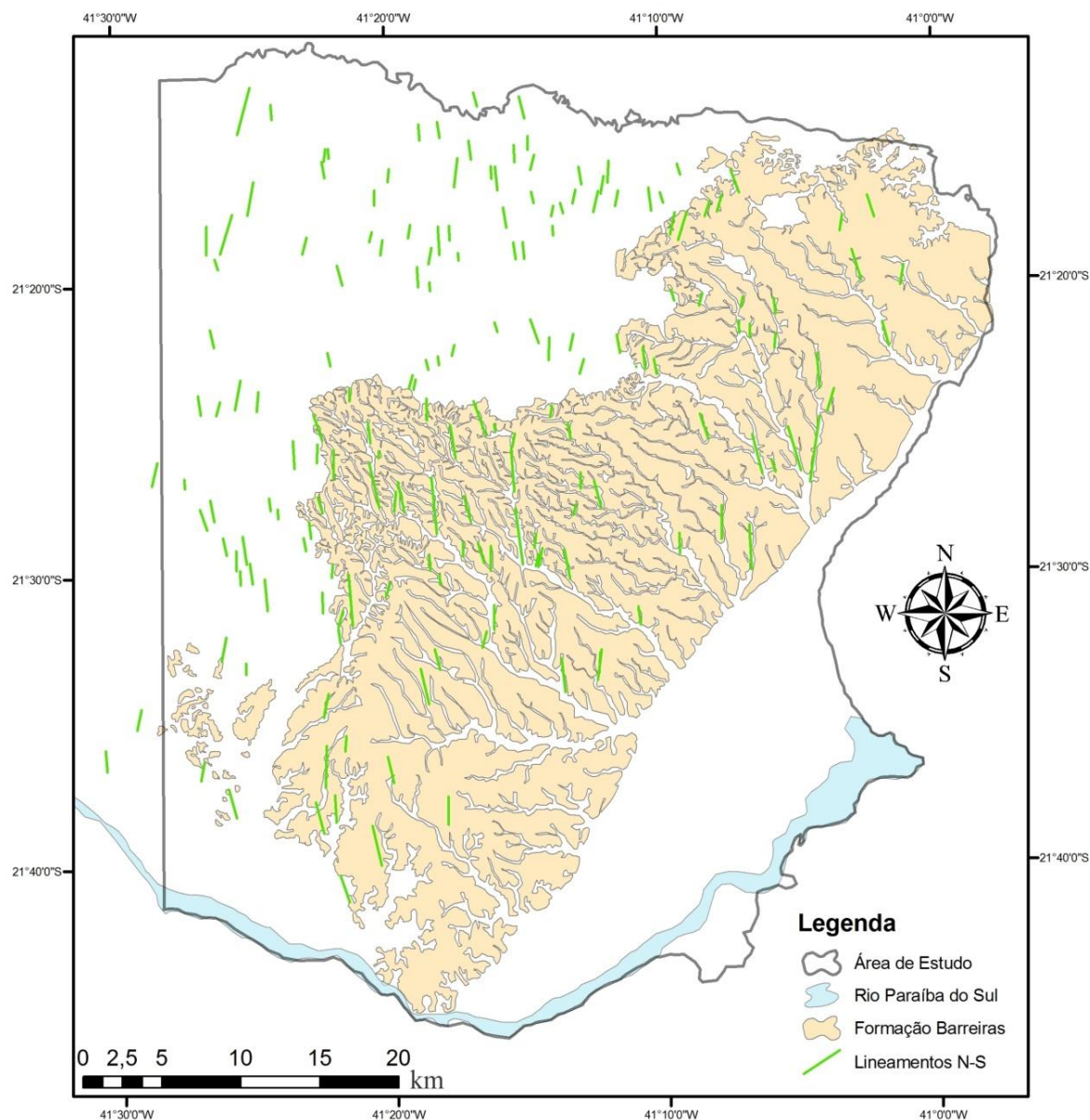
A segunda classe mais abundante é a de direção NE-SW, com cerca de 31% dos lineamentos (Tabela 5.1), com destaque para o intervalo N50-60E (Figura 5.1). Ocorrem majoritariamente na área do embasamento (Figura 5.5), o que indica a influência e a provável reativação de estruturas preexistentes da Faixa Ribeira.



**Figura 5.5:** Mapa de lineamentos da classe NE-SW.

### 5.1.3 Classe N-S

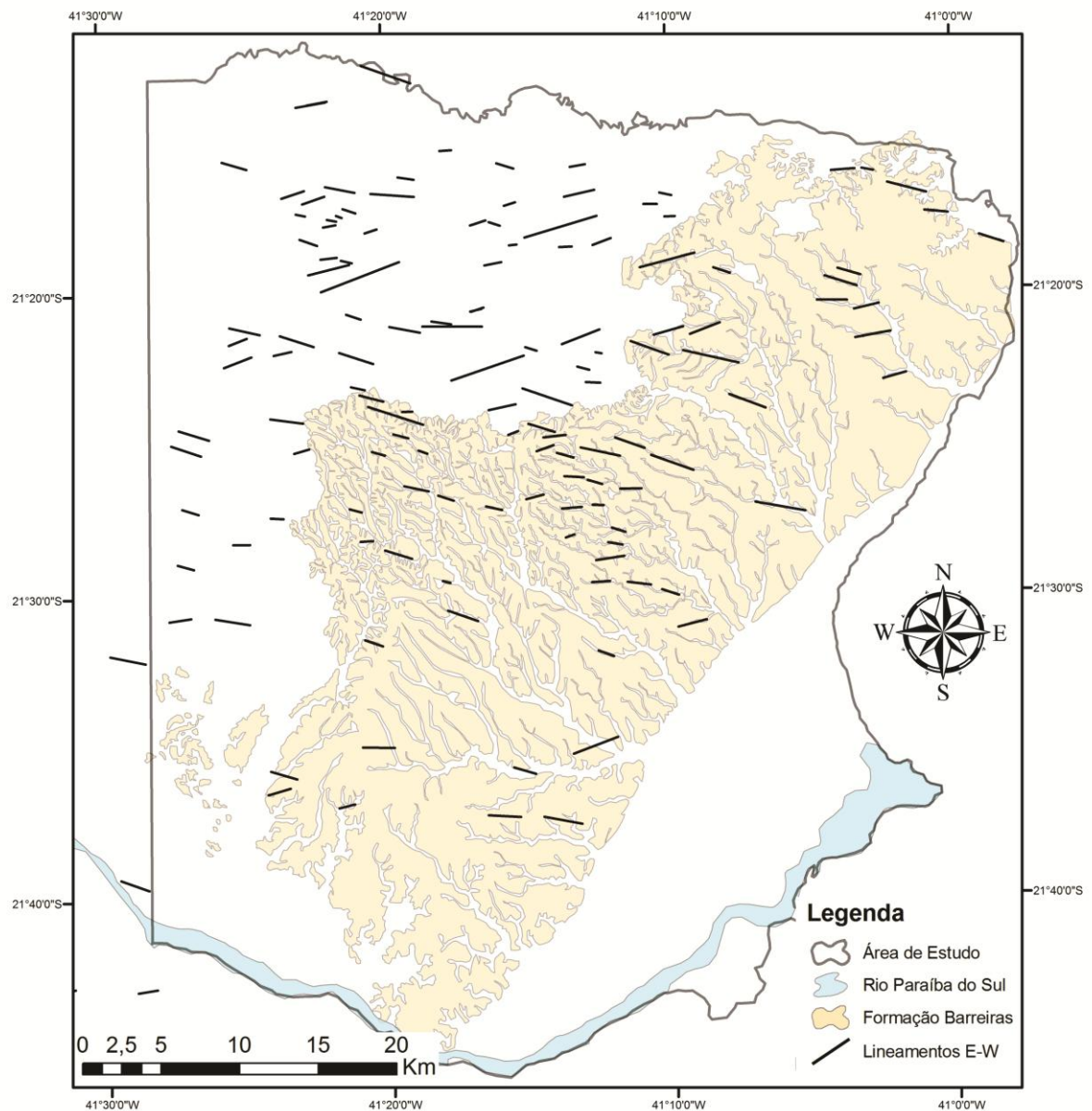
A classe N-S (Figura 5.6) representa 18% do total de lineamentos. Não possui nenhum feixe principal, apesar de ocorrerem regiões com maiores concentrações, como na porção norte da área. É observada uma correspondência entre estes lineamentos e drenagens sobre a Formação Barreiras em suas áreas mais dissecadas.



**Figura 5.6:** Mapa de lineamentos da classe N-S.

#### 5.1.4 Classe E-W

A classe de lineamentos E-W (Figura 5.7) é a de menor ocorrência na área (15%). No entanto, destaca-se a concentração de lineamentos no intervalo N70-80W (Figura 5.1), controlando drenagens sobre a Formação Barreiras. Além disso, ocorre a continuidade de um feixe de mesma orientação para o domínio do embasamento, onde não há nenhuma estrutura tectônica e/ou litológica pré-cambriana que possa explicar tal ocorrência.



**Figura 5.7:** Mapa de lineamentos da classe E-W.

## 5.2 Dados estruturais rúpteis

Foram investigados seis afloramentos (Tabela 5.2 e Figura 5.8) com o objetivo de analisar os mecanismos deformadores principais dos depósitos da Formação Barreiras na região, totalizando 87 medidas de falhas, relacionadas no Apêndice A.

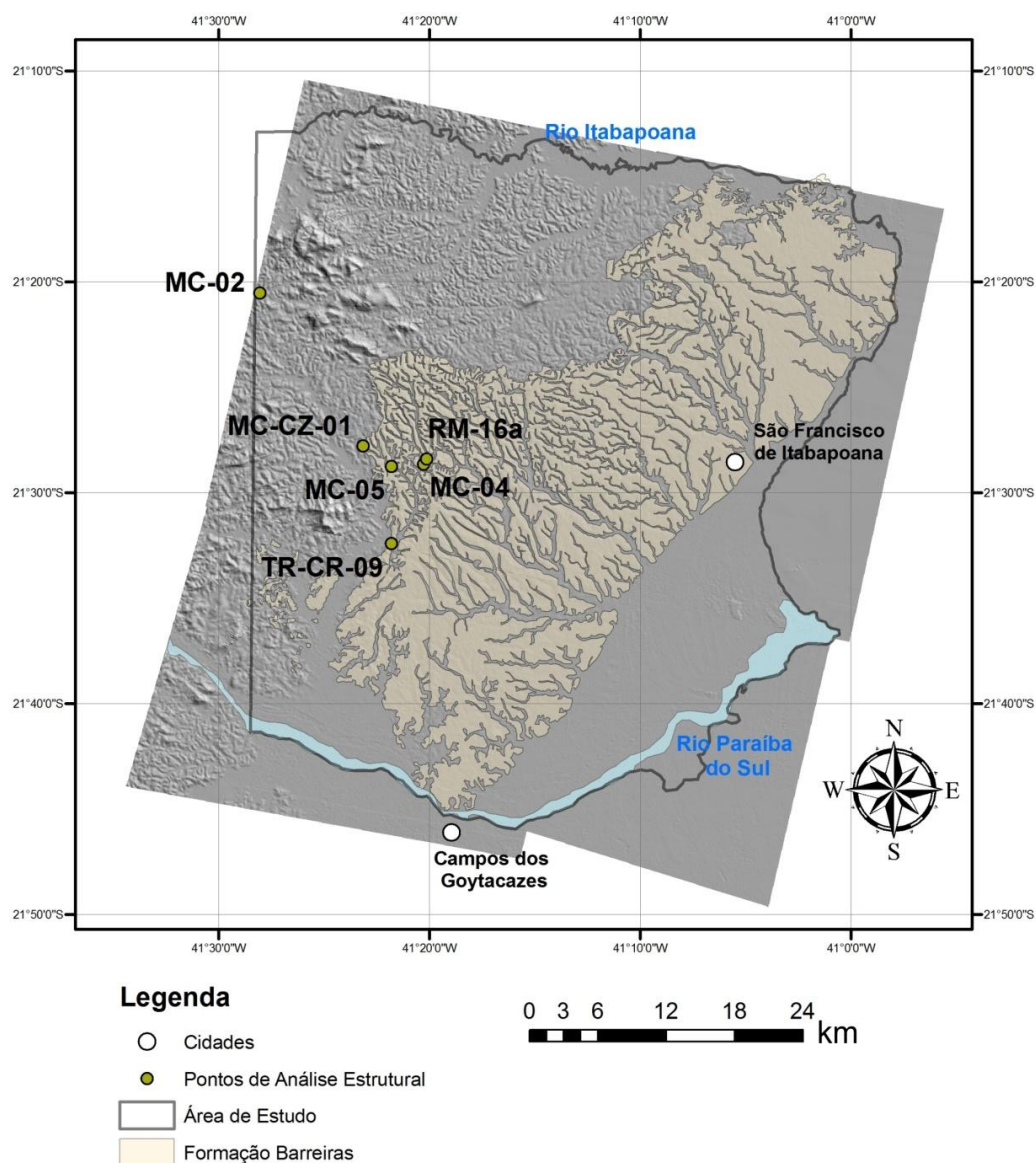
Foram analisados pares falha/estria que afetam os depósitos da Formação Barreiras (e coberturas de alteração), embasamento alterado ou coberturas sedimentares mais recentes (“pós-Barreiras”). Estas últimas estão distribuídas irregularmente nos topos dos tabuleiros costeiros, consistindo em uma cobertura sedimentar sobre os depósitos da Formação Barreiras, geralmente limitada por linhas de seixos quartzosos e de fragmentos de crosta ferruginosa retrabalhada.

Todas as medidas foram processadas no programa WinTensor 5.0.2 (Delvaux, 2014), assim como descrito no item 4.2 da Metodologia. Seus resultados estão ilustrados em estereogramas, com a representação dos planos e estrias, além dos eixos principais de tensão ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$ ).

**Tabela 5.2:** Afloramentos selecionados para análise estrutural, com coordenadas geográficas e total de medidas de pares falha/estria analisadas.

	Nome do Ponto	Identificação do ponto	Coordenadas UTM WGS-84 24K		Total de medidas analisadas
			Latitude	Longitude	
1	MORRO DO COCO 02	MC-02	0244098	7637955	11
2	MORRO DO COCO 04	MC-04	0257778	7623179	6
3	MORRO DO COCO 05	MC-05	0255148	7622969	24
4	MORRO DO COCO - CENOZOICO 01	MC-CZ-01	0252797	7624734	12
5	CÓRREGO SUCUPIRA	RM-16a	0258017	7623660	31
6	TRAVESSÃO - CENOZOICO 09	TR-CR-09	0255246	7616221	3





**Figura 5.8:** Mapa dos pontos onde foram coletados e analisados dados estruturais.

### 5.2.1 Ponto Morro do Coco 02 (MC-02)

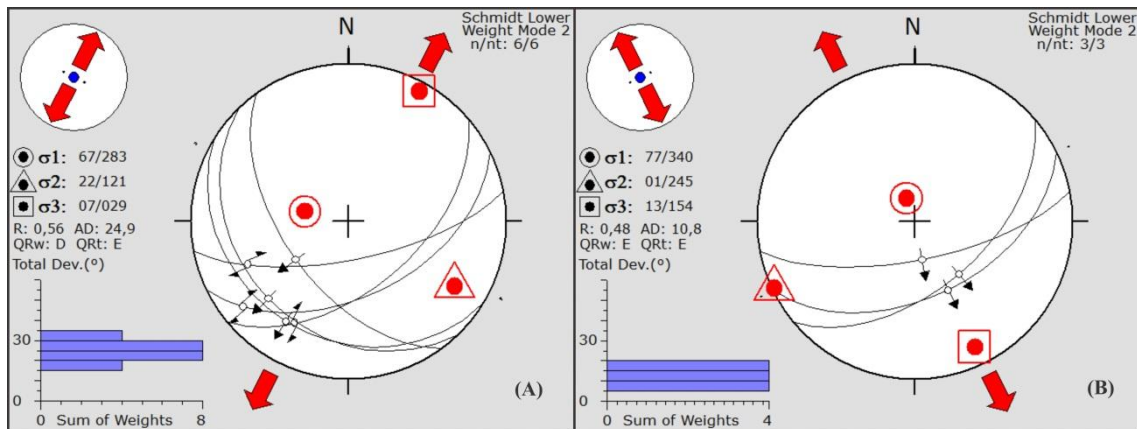
Este afloramento (Figura 5.9) está localizado entre os distritos de Santa Bárbara e Vila Nova de Campos, correspondendo ao ponto mais afastado da área onde aflora a Formação Barreiras.

Está localizado sobre um conjunto de lineamentos com direção NE-SW, sendo identificados dois conjuntos de estruturas principais (Figura 5.10): a) falhas normais NE-SW e ENE-WSW, que afetam o embasamento saprolitizado e a cobertura sedimentar neogênica, associadas a uma distensão NW-SE; e b) falhas normais NW-SE e falhas dextrais NE-SW e WSW-ENE, que afetam embasamento saprolitizado e a cobertura sedimentar neogênica,

indicando uma distensão NE-SW. Em alguns planos com orientação NE-SW foram observadas estrias em duas direções diferentes, indicando que estes foram movimentados em dois momentos distintos. As estrias de movimentação normal são mais novas que as estrias de movimentação direcional, evidenciando que os esforços de distensão NW-SE foram mais recentes em relação aos esforços de distensão NE-SW.



**Figura 5.9:** Zonas de falhas observadas no ponto MC-02, afetando o embasamento e a cobertura sedimentar neogênica.

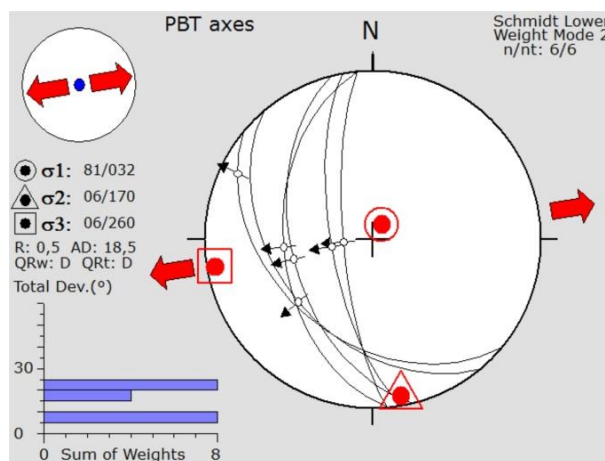


**Figura 5.10:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-02: **(A)** falhas dextrais normais WSW-ENE e NE-SW, e falhas normais NW-SE relacionadas a esforços de distensão NE-SW; e **(B)** falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a esforços de distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot$   $s_1$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle$   $s_2$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square$   $s_3$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2$ - $\sigma_3$ / $\sigma_1$ - $\sigma_3$ ).

### 5.2.2 Ponto Morro do Coco 04 (MC-04)

O afloramento está localizado em um corte de estrada na rodovia BR-101, próximo ao distrito de Conselheiro Josino, em área onde aflora a Formação Barreiras bastante dissecada, estando sobre uma região em que se concentram lineamentos com *strike* NW-SE e N-S. Todos os dados utilizados foram coletados e interpretados por Ribeiro (2010), sendo reanalisados neste trabalho.

Foi identificado um conjunto de falhas afetando os depósitos da Formação Barreiras, sendo elas normais NNW-SSE e NW-SE e dextral NW-SE, associadas a uma distensão ENE-WSW (Figura 5.11).



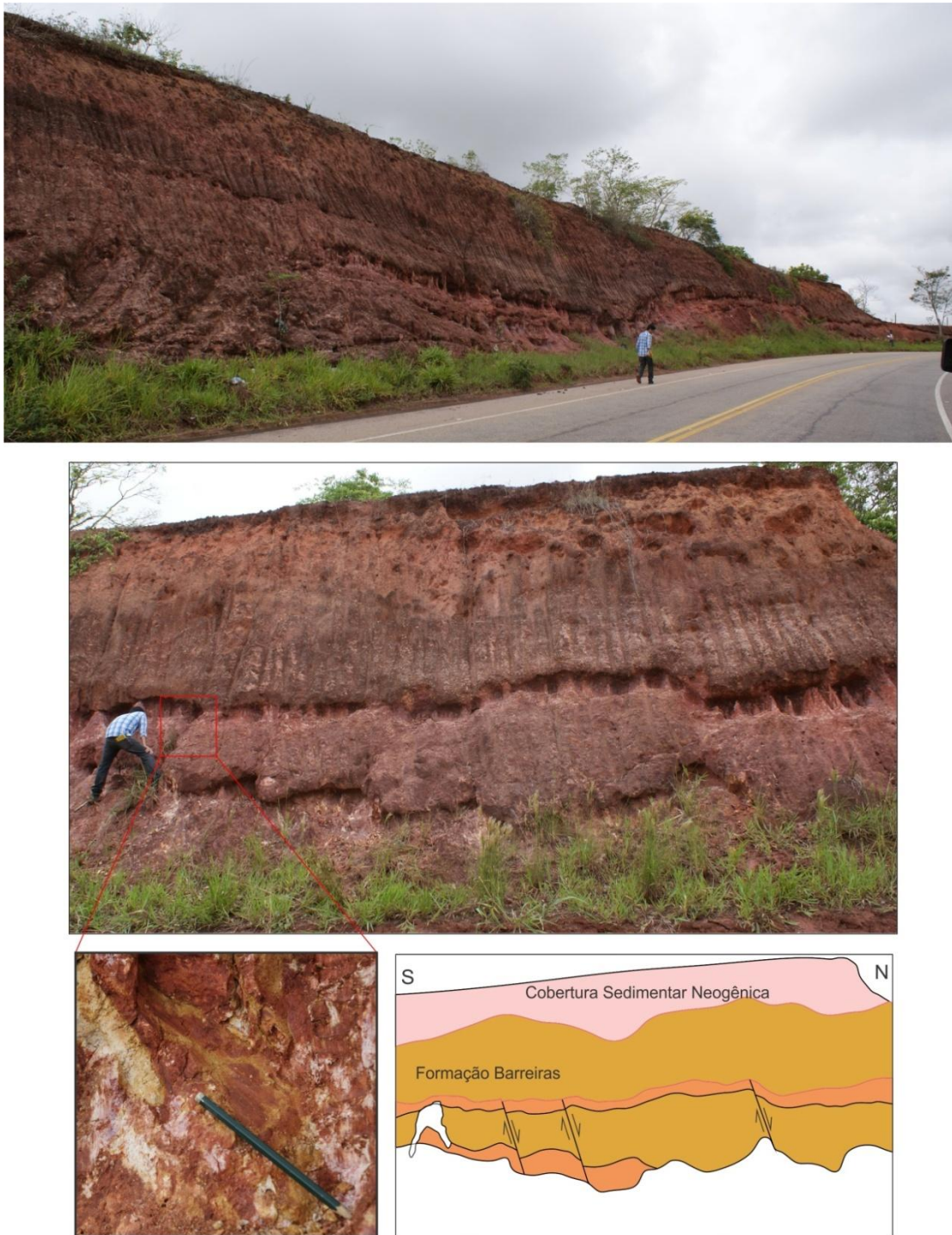
**Figura 5.11:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-04: (A) falha dextral normal NW-SE, falhas normais NNW-SSE e NW-SE relacionadas a esforços de distensão ENE-WSW. Simbologia: ●<sup>S1</sup> - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ ); ▲<sup>S2</sup> - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ ); ■<sup>S3</sup> - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2$ - $\sigma_3$ / $\sigma_1$ - $\sigma_3$ ).

### 5.2.3 Ponto Morro do Coco 05 (MC-05)

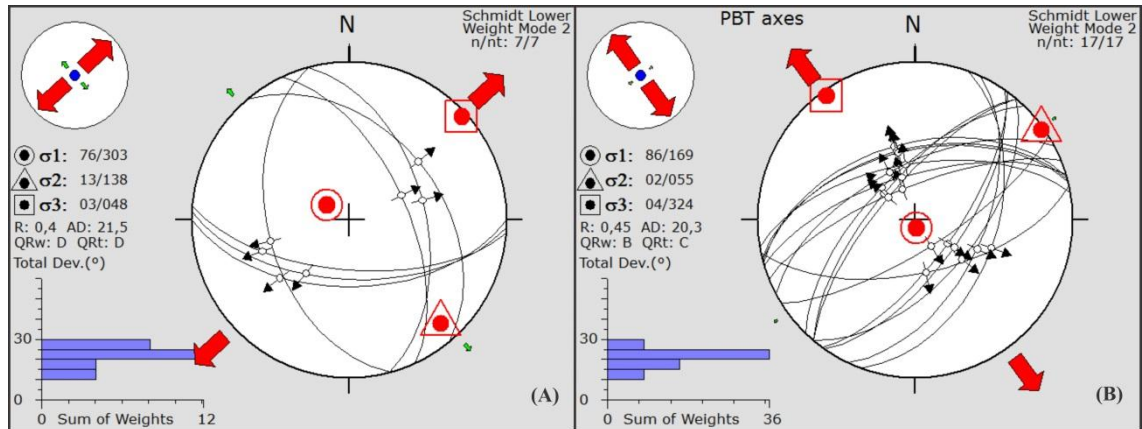
Corte de estrada na rodovia RJ-228 (Figura 5.12), localizado a cerca de 3km do distrito de Conselheiro Josino. O ponto está situado em área onde a Formação Barreiras encontra-se bastante dissecada, com presença de lineamentos com direção preferencial NW-SE a NNW-SSE e NE-SW. Neste ponto, foram compilados e analisados de forma conjunta os dados adquiridos na campanha de campo deste trabalho, além de dados obtidos anteriormente por Ribeiro (2010).



Puderam-se agrupar os dados estruturais observados nesse ponto em dois conjuntos distintos, afetando a Formação Barreiras e também as coberturas sedimentares neogênicas (Figura 5.13): a) falhas normais NW-SE e falhas dextrais E-W, associados a uma distensão NE-SW, podendo-se observar também uma representativa compressão NW-SE; e b) falhas normais NE-SW e ENE-WSW, associadas a esforços distensivos NW-SE.



**Figura 5.12:** Ponto MC-05, com uma porção fotointerpretada, além de detalhe de um plano de falha estriado.



**Figura 5.13:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-05: **(A)** falhas dextrais normais E-W e falhas normais NW-SE relacionadas a esforços distensivos NE-SW; e **(B)** falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a uma distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ).

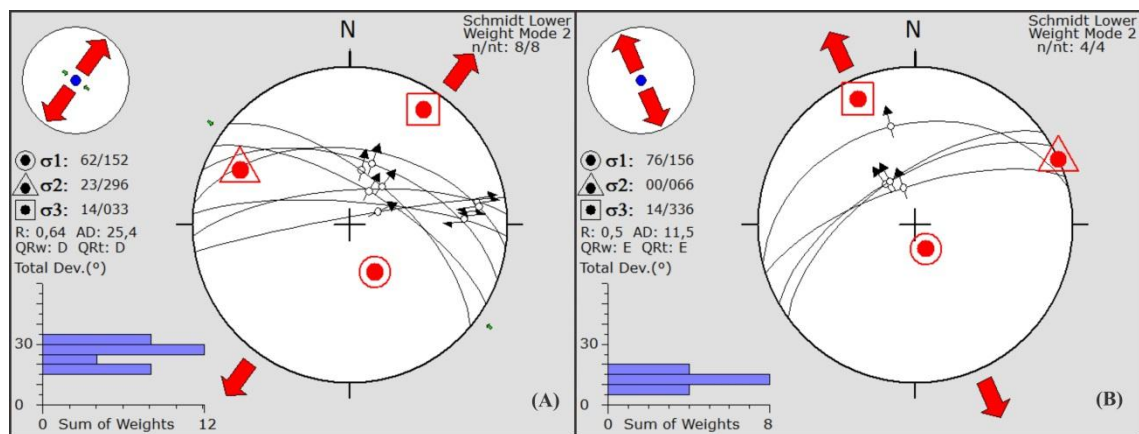
#### 5.2.4 Ponto Morro do Coco – Cenozoico 01 (MC-CZ-01)

Localizado também na RJ-228, o ponto MC-CZ-01 (Figura 5.14) está situado a aproximadamente 3km a sul do distrito de Vila Nova de Campos, em uma área onde há a predominância de lineamentos NW-SE, praticamente no contato entre o domínio da Formação Barreiras e o embasamento.

Os dados estruturais obtidos neste afloramento foram separados em dois conjuntos de eventos tectônicos distintos (Figura 5.15): a) falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes dextrais WNW-ESE e NW-SE, associadas a uma distensão NE-SW; e b) falhas normais NE-SW e ENE-WSW, geradas por esforços distensivos NW-SE.



**Figura 5.14:** Ponto MC-CZ-01, sendo destacada uma lente pelítica (em laranja) em meio aos depósitos fraturados da Formação Barreiras, com estruturas de orientação variável, predominando o *trend* WNW-ESE.



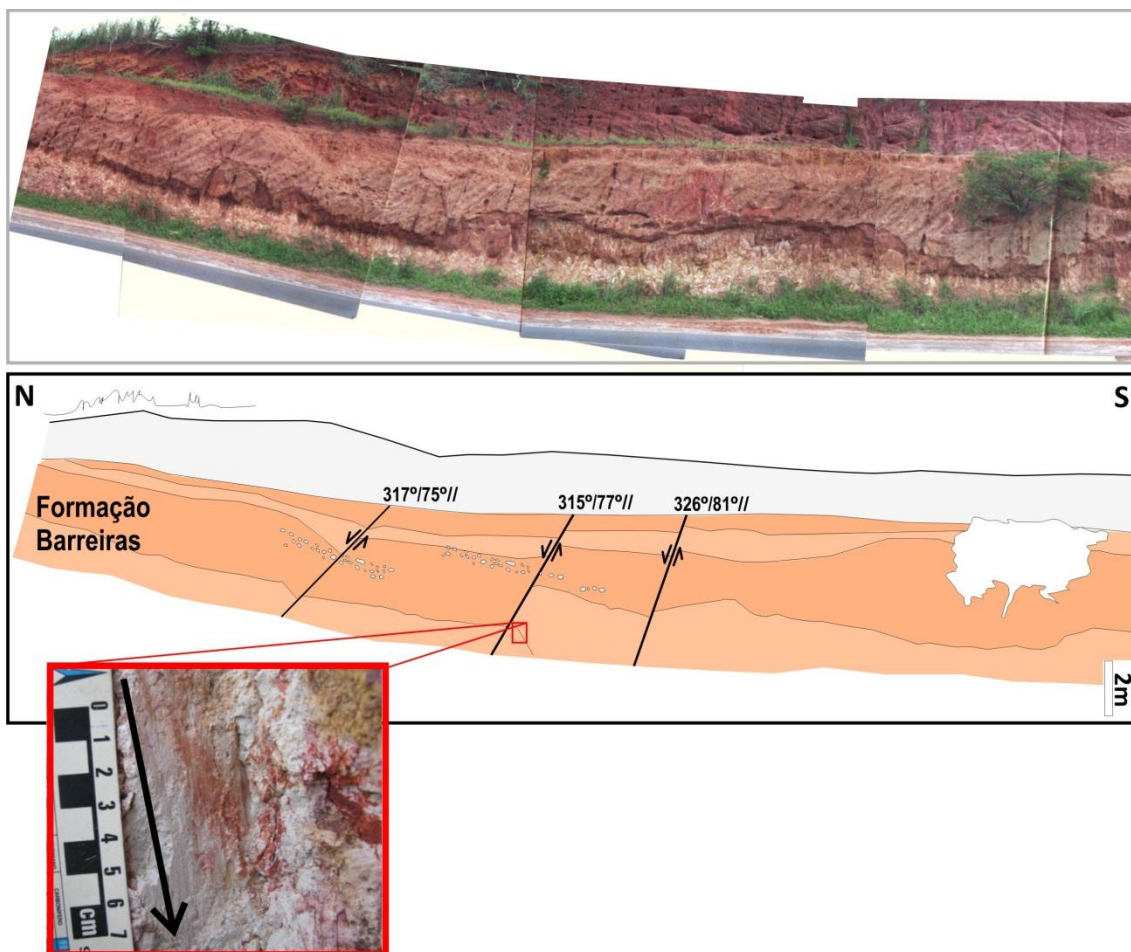
**Figura 5.15:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto MC-CZ-01: **(A)** falhas dextrais normais WNW-ESE e NW-SE, e falhas normais NW-SE relacionadas a esforços de distensão NE-SW; e **(B)** falhas normais ENE-WSW e NE-SW relacionadas a uma distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ).



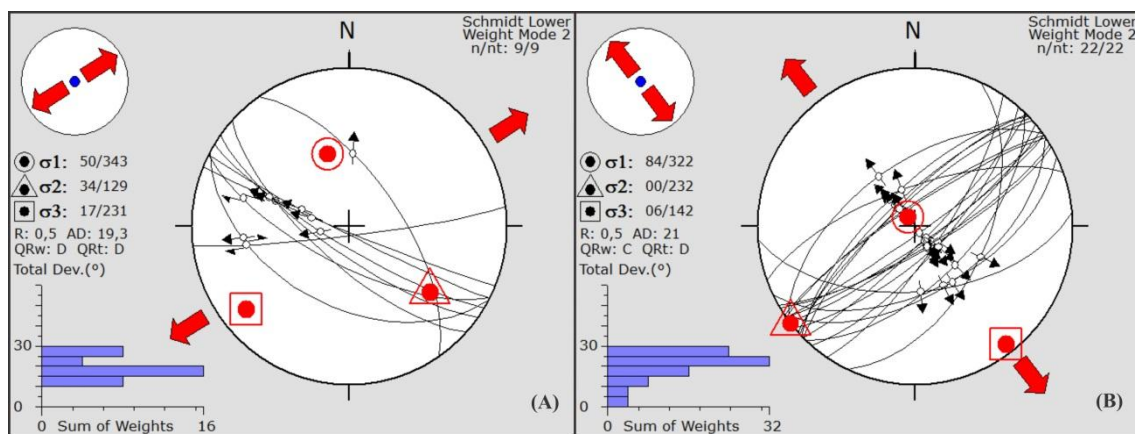
### 5.2.5 Ponto Córrego Sucupira (RM-16a)

Está situado em um corte no km 31 da rodovia BR-101 (Figura 5.16), menos de um quilômetro a norte do ponto MC-04. Consiste em um afloramento da Formação Barreiras já descrito e fotointerpretado por Moraes (2001) e Ribeiro (2010), onde pode-se observar que os depósitos estão bastante fraturados. O ponto está sobre uma área de lineamentos com direção principal NW-SE e também NE-SW. Trata-se de uma nova análise dos dados coletados e previamente analisados por Ribeiro (2010).

As falhas encontradas neste afloramento foram divididas em dois grupos (Figura 5.17): a) falhas dextrais NW-SE e ENE-WSW e sinistral NW-SE, associadas a uma distensão NE-SW; b) falhas normais NE-SW e ENE-WSW associadas a uma distensão NW-SE.



**Figura 5.16:** Fotomosaico interpretado por Ribeiro (2010) do afloramento Córrego Sucupira (ponto RM-16a), onde são identificadas falhas que deslocam a Formação Barreiras. Em detalhe, pode ser observada estrias de falhas contidas em um dos planos. In: Ribeiro (2010).



**Figura 5.17:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a falhas observadas no ponto RM-16a: **(A)** falhas dextrais normais WSW-ENE e NW-SE e falha sinistral normal NW-SE, relacionadas a uma distensão NE-SW; e **(B)** falhas normais NE-SW e ENE-WSW, relacionadas a um regime de distensão NW-SE. Simbologia:  $\odot^{\sigma_1}$  - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ );  $\triangle^{\sigma_2}$  - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ );  $\square^{\sigma_3}$  - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2 - \sigma_3 / \sigma_1 - \sigma_3$ ).

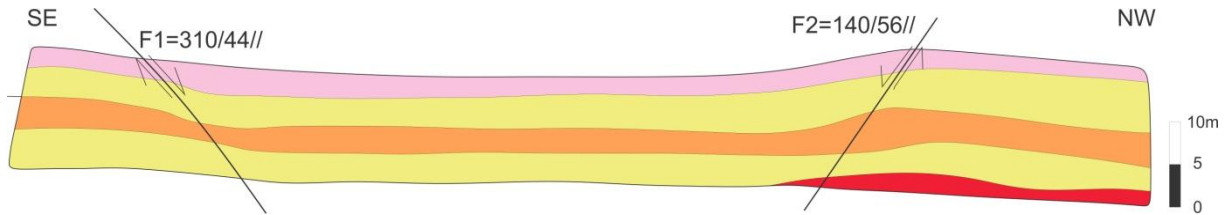
#### 5.2.6 Ponto Travessão – Cenozoico 09 (TR-CZ-09)

Consiste em um grande afloramento, com cerca de 150m de extensão e 20m de altura (Figura 5.18), localizado próximo à margem norte da Lagoa da Onça. Seu acesso é restrito, feito a partir do distrito de Guandu, de onde se deve fazer uma caminhada de 2 km até chegar ao mesmo. O ponto está em uma região em que predominam lineamentos NW-SE, N-S e NE-SW.

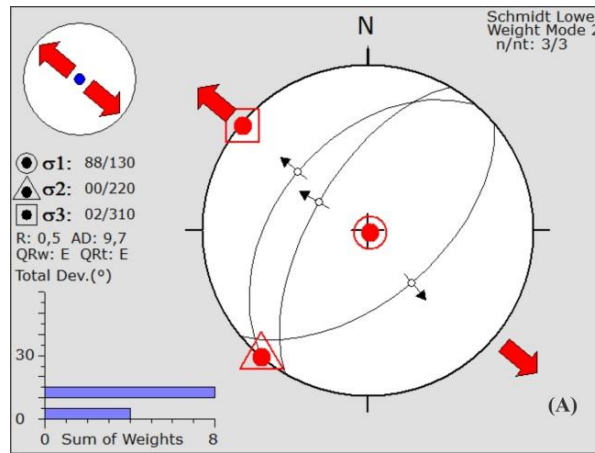


**Figura 5.18:** Ponto Travessão-Cenozoico 09 (TR-CZ-09), onde se pode observar o contato entre o embasamento e a Formação Barreiras.

Foram identificados apenas três planos de falha estriados, porém em uma região que indicava a formação de um gráben (Figura 5.19), afetando, inclusive, a cobertura sedimentar neogênica. Todos são planos de falha normais NE-SW, associados a uma distensão NW-SE (Figura 5.20).



**Figura 5.19:** Croqui de um trecho do afloramento analisado no ponto TR-CZ-09, onde há deslocamento das camadas, inclusive dos depósitos neogênicos, por falhas normais NE-SW. Legenda: vermelho – embasamento alterado; amarelo – lamitos da Fm. Barreiras; laranja – arenitos da Fm. Barreiras (paleocorrente: 140°); rosa – cobertura sedimentar neogênica.



**Figura 5.20:** Projeções estereográficas (Schmidt-Lambert, hemisfério inferior) e o campo de tensão associado a: (A) falhas normais NE-SW relacionadas a um regime de distensão NW-SE, observadas no ponto TR-CZ-09. Simbologia: ●<sup>S1</sup> - eixo de tensão máxima ( $\sigma_1$ ); ▲<sup>S2</sup> - eixo de tensão intermediária ( $\sigma_2$ ); ■<sup>S3</sup> - eixo de tensão mínima ( $\sigma_3$ ); setas grandes cheias - eixos distensivos horizontais; R - razão de esforços ( $\sigma_2\text{-}\sigma_3/\sigma_1\text{-}\sigma_3$ ).

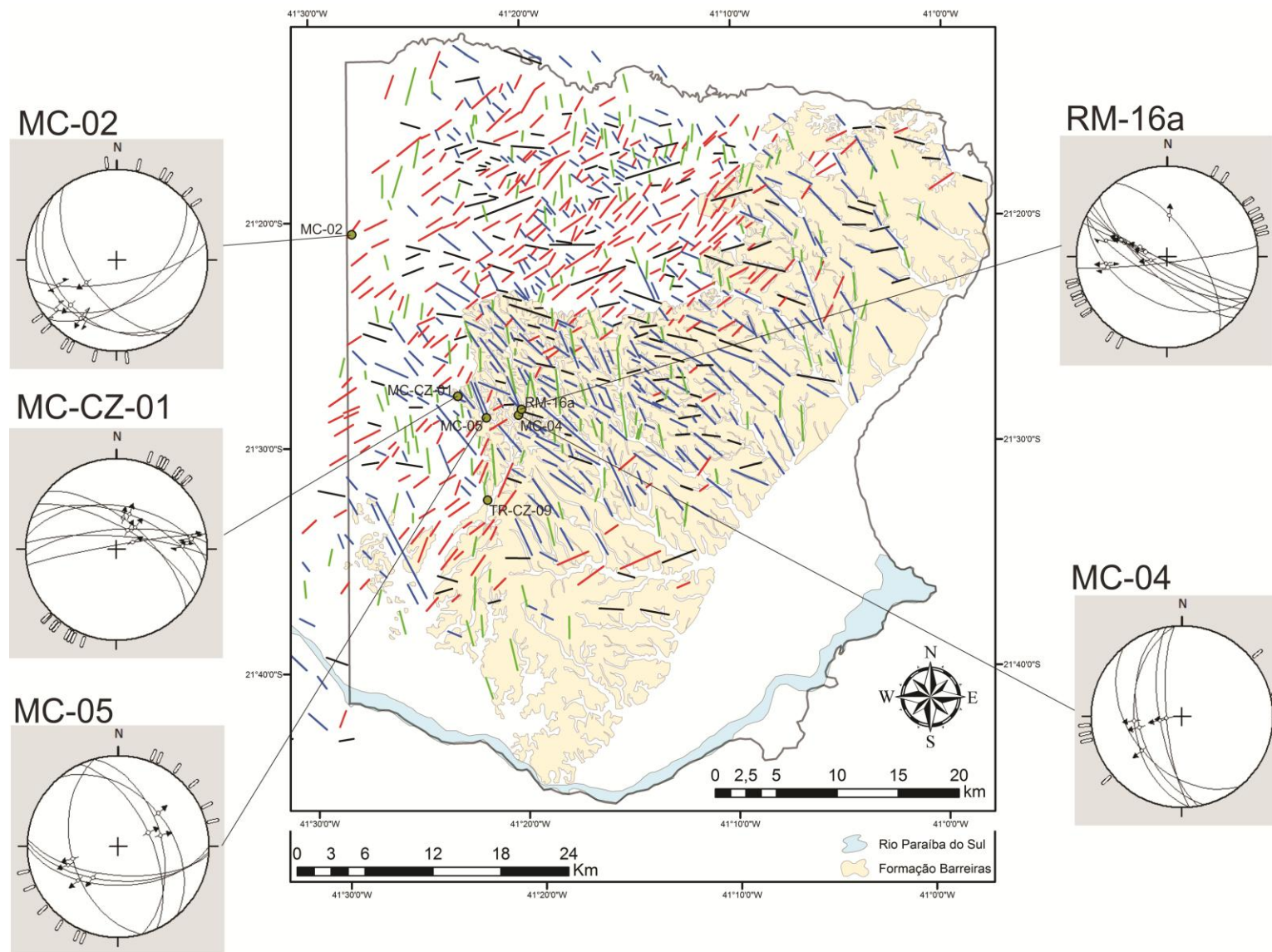
### 5.3 Análise dos campos de paleotensões e regimes tectônicos

A partir da análise dos campos de tensão associados aos conjuntos de pares de falha/estria analisados, relações de sobreposição de estrias e relações estratigráficas, foram identificadas duas fases tectônicas atuantes durante o Cenozoico na região. Ambas se mostram compatíveis com regimes tectônicos já reconhecidos na área e em áreas próximas, e estão descritas a seguir:

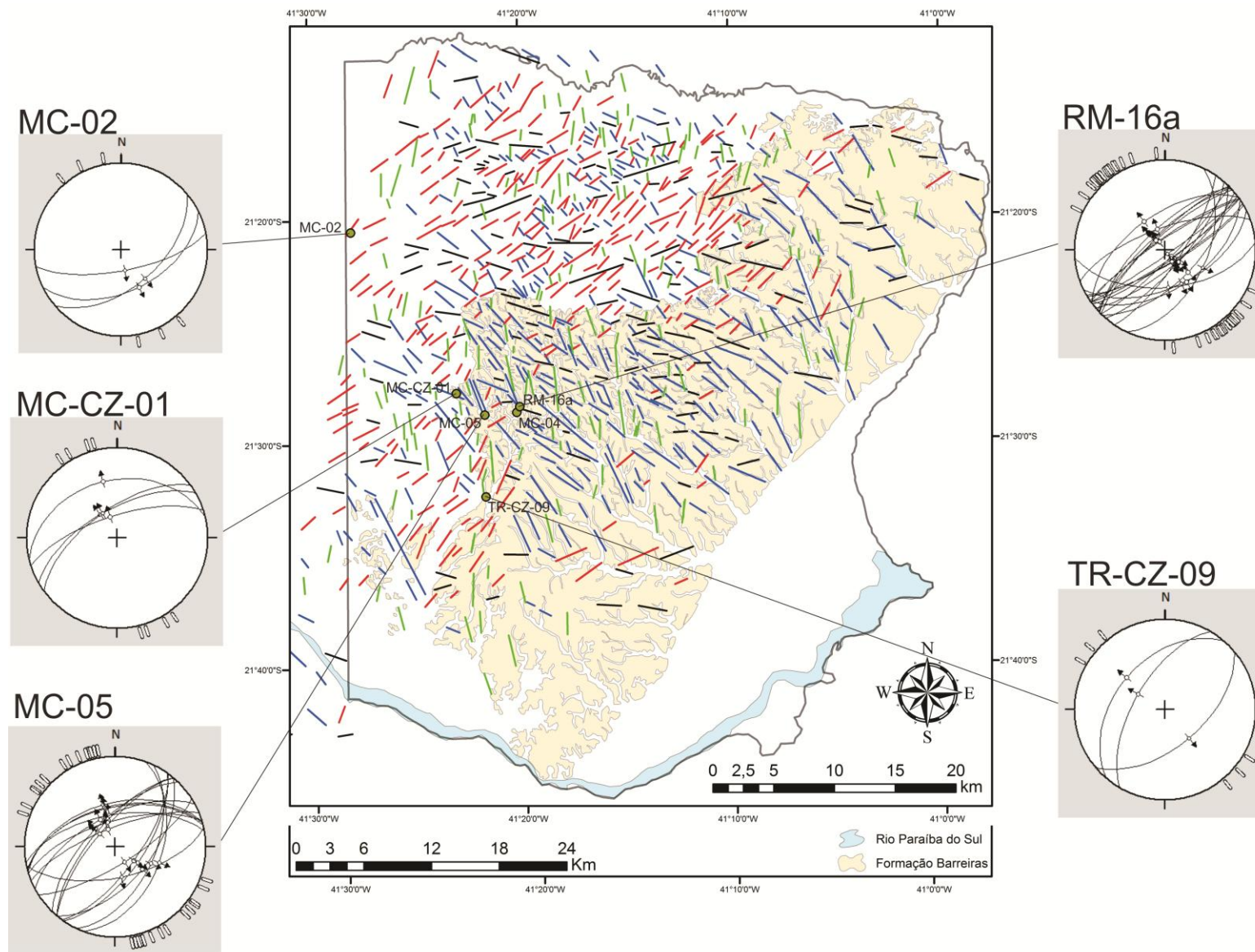
- **Transcorrência Dextral E-W** - apesar de os estereogramas indicarem uma forte distensão NE-SW e pouca compressão NW-SE, o conjunto de falhas dextrais WNW-ESE, E-W e NW-SE, falhas normais NW-SE e falhas sinistrais NW-SE, que afetam a Formação Barreiras e a cobertura sedimentar cenozoica, foi considerado compatível com a fase neotectônica de transcorrência dextral E-W (Figura 5.21). Esta fase corresponde à terceira fase de tectonismo cenozoico identificadas por Riccomini (1989) e Riccomini *et al.* (2004) para o RCSB, com idade pleistocênica. O mesmo evento é identificado por Ribeiro (2010) desde a área de estudo até o norte do Espírito Santo e por diversos outros autores na região sudeste do Brasil (Figura 3.8).

- **Distensão NW-SE** - caracterizada por falhas normais com *strike* predominante NE-SW e também ENE-WSW que afetam a Formação Barreiras e cobertura sedimentar cenozoica (Figura 5.22). É correlacionável com a fase de distensão holocênica do modelo do RCSB de Riccomini (1989) e Riccomini *et al.* (2004), também identificada por Ribeiro (2010) desde a área de estudo até o norte do Espírito Santo e por diversos outros autores na região sudeste do Brasil (Figura 3.8).





**Figura 5.21:** Mapa de lineamentos e de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na área de estudo, com a indicação dos pontos com estruturas compatíveis com o regime de transcorrência dextral E-W.



**Figura 5.22:** Mapa de lineamentos e de distribuição dos depósitos da Formação Barreiras na área de estudo, com a indicação dos pontos com estruturas compatíveis com o regime de distensão NW-SE.

## 6- CONCLUSÕES

Os resultados adquiridos comprovam a atuação e a grande contribuição dos eventos neotectônicos na configuração atual dos depósitos da Formação Barreiras na região norte-fluminense, entre os rios Paraíba do Sul e Itabapoana. A dissecação dos depósitos, configurados pela rede de drenagem instalada entre os tabuleiros evidencia de forma clara a existência desse controle estrutural.

Na análise dos lineamentos estruturais, foi observada uma divisão da área em dois setores principais: o primeiro, na região do embasamento, onde é observada uma orientação principal NE-SW, enquanto a região de domínio dos tabuleiros da Formação Barreiras apresenta uma grande concentração de lineamentos NW-SE. Essa variação ocorre por duas razões principais: as estruturas NE-SW do embasamento são estruturas proterozoicas, reativadas também durante o Cenozoico, e as estruturas NW-SE são geradas principalmente pelo evento de Transcorrência Dextral E-W, que não teve magnitude suficiente para gerar estruturas de escala regional nas rochas do embasamento.

Em relação aos dados estruturais obtidos, foi possível associá-los a dois eventos neotectônicos já reconhecidos e definidos em outras áreas da região Sudeste do Brasil. Apesar de os dados analisados evidenciarem apenas esforços distensivos NE-SW, sem esforços compressivos horizontais, o primeiro evento reconhecido foi relacionado ao regime de Transcorrência Dextral E-W, de idade pleistocênica. As estruturas de direção WNW-ESE e NW-SE correspondem a falhas R e T deste regime e são compatíveis com os principais lineamentos estruturais encontrados. O segundo evento neotectônico identificado corresponde à Distensão NW-SE, de idade holocênica. Nos tabuleiros da Formação Barreiras, são formados conjuntos de blocos de *grabens* e *horsts* delimitados por canais fluviais com direção principal NW-SE até E-W, permitindo concluir que o regime de Transcorrência Dextral E-W condiciona fortemente a sua atual configuração.

Por fim, pôde-se concluir que a neotectônica atuante no Sudeste do Brasil, que consiste no mecanismo de deformação do SRCBS, também atua na área de estudo, tendo condicionado e influenciado a configuração atual do relevo.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIER, J. Fault slip analysis and paleostress reconstruction. In: HANCOCK, P. L. (Ed.). **Continental Deformation**. Oxford: Pergamon Press, 1994. p. 53-100.
- BREDA, T. C. **Análise Multiescalar da Formação Barreiras na Área Emersa da Bacia de Campos, Entre Búzios e Campos dos Goytacazes (RJ)**. Programa de Pós-Graduação em Geologia, UFRJ, Dissertação de Mestrado, 2012, 117 p.
- CHRISMANN, J.V.V. **Mapeamento da Formação Barreiras na Região Norte Fluminense, Entre os Rios Paraíba do Sul e Itabapoana**. Graduação em Geologia, UFRJ, Trabalho Final de Curso, 2014, 49 p.
- DANTAS, M.E. **Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2000. CD-ROM.
- DELVAUX, D. **Win-Tensor**. Version 5.0.2. 2014. Disponível em: <<http://www.damiendelvaux.be/Tensor/WinTensor/win-tensor.html>>. Acesso em: abr. 2014.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORK-SHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZÓICA NO SUDESTE DO BRASIL, 1, 1990, Belo Horizonte, **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 1990, p. 1 – 31.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V. M.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 203-234.
- LIU, C. C. A geologia estrutural do estado do Rio de Janeiro vista através de imagens MSS de Landsat. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL RJ-ES, 1., 1987, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro:SBG, p. 164-188. 1987.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M.; FLEXOR, J. **Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. Belo Horizonte: CPRM, 1997, 112 p.

MORAIS, R. M. O. **Estudo faciológico da Formação Barreiras na região entre Marica e Barra de Itabapoana, estado do Rio de Janeiro**. 2001. 113 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

MORAIS, R. M. O.; MELLO, C. L.; COSTA, F. O.; SANTOS, P. F. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro. **Geologia USP (Série Científica)**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 19-30, out. 2006.

O' LEARY, D. W., FRIEDMAN, D. D., POHN, H. A., Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 87, p. 1463-1469, oct.1976.

PETIT, J. P. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. **Journal of Structural Geology**, v. 9, n. 5/6, p. 597-608, 1987.

RIBEIRO, C. S. **Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e rio Doce (ES)**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 163 p. 2010.

RICCOMINI, C. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. 1989. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 256 p. 1989.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L.G.; FERRARI, A.L. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: MANTESSO-NETO, V. M.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 383-406.

SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretações preliminares. **Geonomos**, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1993.

SILVA, L.C. & CUNHA, H.C.S. 2001. **Geologia do estado do Rio de Janeiro**. Brasília: CPRM, 2001. CD-ROM.

TOMAZ, E. A. **Integração de dados estruturais ao longo da margem continental da bacia de Campos, região da planície costeira do rio Paraíba do Sul.** Rio de Janeiro. 2003. 50 p. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R.; VALLADARES, C.; ALMEIDA, J.; SILVA, L. G. E.; MEDEIROS, S. R.; ALMEIDA, C. G.; MIRANDA, A.; RAGATKY, C. D.; MENDES, J.; LUDKA, I. Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: estado da arte e conexões com a Faixa Araçuaí. **Geonomos**, n.15, v. 1, p. 67-79, 2007.

WILCOX, R. E.; HARDING, T. P.; SEELY, D. R. Basic Wrench Tectonics. **American Association of Petroleum Geology**, v. 57, n. 1, p. 74-96, 1973.

WINTER, W. R.; JAHNERT, R. J.; FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. **B. Geoci. Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 511-529, 2007.

## Apêndice 1 – Tabela de Dados Estruturais

Orientação dos esforços tectônicos: Comp.-compressão, Dist.-distensão; Regime tectônico: TD-transcorrência dextral, E-distensão; Tipos de falhas segundo modelo de tectônica transcorrente de Wilcox *et al.* (1973): T- falha normal, R-falha sintética ao movimento da falha principal, R'- falha antitética ao movimento da falha principal, Y-falha principal paralela à zona de cisalhamento, P- falha sintética ao movimento da falha principal, falha secundária.

MORRO DO COCO 02 (MC-02)								
n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
1	154/50	154/50	N64E/50SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Embasamento alterado e cobertura amarelada	
2	154/50	230/14	N64E/50SE	Falha Dextral Normal	TD-EW	X	Embasamento alterado	
3	169/70	169/70	N79E/70SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Embasamento alterado	
4	169/70	245/30	N79E/70SE	Falha Dextral Normal	TD-EW	X	Embasamento alterado	
5	140/54	140/54	N50E/54SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Embasamento alterado	
6	140/54	215/33	N50E/54SE	Falha Dextral Normal	TD-EW	X	Embasamento alterado	
7	222/54	222/54	N48W/54SW	Falha Normal	TD-EW	T	Embasamento alterado	
8	234/56	234/56	N36W/56SW	Falha Normal	TD-EW	T	Embasamento alterado	
9	212/26	212/26	N58W/26SW	Falha Normal	TD-EW	T	Embasamento alterado	
10	210/48	210/48	N60W/48SW	Falha Normal	TD-EW	T	Embasamento alterado	
11	226/30	226/30	N44W/30SW	Falha Normal	TD-EW	T	Embasamento alterado	
MORRO DO COCO 04 (MC-04)								
n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
12	265/76	265/76	N05W/76W	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
13	265/46	265/46	N05W/46W	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
14	260/70	260/70	N10W/70W	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
15	230/42	230/42	N40W/42SW	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
16	256/50	256/50	N14W/50W	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
17	220/40	298/14	N50W/40SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)



MORRO DO COCO 05 (MC-05)								
n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
18	130/58	130/58	N40E/58SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
19	310/72	310/72	N40E/72NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
20	332/62	332/62	N62E/62NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
21	314/66	314/66	N44E/66NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
22	310/69	310/69	N40E/69NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
23	126/69	126/69	N36E/69SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
24	168/62	168/62	N78E/62SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
25	110/47	110/47	N20E/47SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
26	148/74	148/74	N58E/74SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
27	125/65	125/65	N35E/65SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
28	344/50	344/50	N74E/50NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
29	115/54	115/54	N25E/54E	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
30	338/73	338/73	N68E/73NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
31	345/53	345/53	N75E/53NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
32	343/67	343/67	N73E/67NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
33	346/54	346/54	N76E/54NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
34	350/61	350/61	N80E/61NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
35	183/59	222/52	N87W/69SE	Falha Dextral Normal	TD-EW	P/Y	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
36	185/64	243/36	N85W/74SE	Falha Dextral Normal	TD-EW	P/Y	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
37	180/55	230/42	EW/55S	Falha Dextral Normal	TD-EW	P/Y	Formação Barreiras	
38	075/50	075/50	N15W/50NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
39	065/60	065/60	N25W/60NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
40	255/47	255/47	N15W/47W	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
41	050/42	050/42	N40W/42NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	

CÓRREGO SUCUPIRA (RM-16a)								
n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
42	325/80	325/80	N55E/80NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
43	140/75	140/75	N50E/75SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
44	115/52	115/52	N25E/52SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
45	154/56	154/56	N64E/56SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
46	317/75	317/75	N47E/75NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
47	315/77	315/77	N45E/77NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
48	326/81	326/81	N56E/81NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
49	150/77	150/77	N60E/77SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
50	143/80	143/80	N53E/80SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
51	316/71	316/71	N46E/71NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
52	340/70	340/70	N70E/70NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
53	146/55	146/55	N56E/55SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
54	124/76	124/76	N34E/76SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
55	324/58	324/58	N54E/58NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
56	135/82	135/82	N45E/82SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
57	175/56	175/56	N85E/56S	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
58	145/81	145/81	N55E/81SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
59	145/86	145/86	N55E/86SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
60	149/78	149/78	N59E/78SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
61	131/74	131/74	N41E/74SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
62	134/61	134/61	N44E/61SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
63	318/78	318/78	N48E/78NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
64	222/71	289/49	N48W/71SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
65	207/86	290/64	N63W/86SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
66	207/70	285/31	N63W/70SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
67	211/80	260/75	N59W/80SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)

**CÓRREGO SUCUPIRA (RM-16a) - CONTINUAÇÃO**

n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
68	208/48	264/33	N62W/48SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
69	215/76	290/45	N55W/76SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
70	202/87	283/70	N68W/70SW	Falha Dextral Normal	TD-EW	R	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
71	055/64	003/52	N35W/64NE	Falha Sinistral Normal	TD-EW	R'	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)
72	163/85	248/33	N73E/85SE	Falha Dextral	TD-EW	P	Formação Barreiras	Ribeiro (2010)

**MORRO DO COCO - CENOZOICO 01 (MC-CZ-01)**

n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
73	342/70	342/70	N72E/70NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	
74	344/36	344/36	N74E/36NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	
75	356/72	080/19	N86E/02NW	Falha Dextral	TD-EW	Y	Formação Barreiras	
76	008/50	082/15	N82W/50N	Falha Dextral	TD-EW	Y	Formação Barreiras	
77	350/86	065/74	N80E/86N	Falha Dextral Normal	TD-EW	P	Formação Barreiras	
78	004/78	086/28	N86W/78N	Falha Dextral Normal	TD-EW	P	Formação Barreiras	
79	324/64	324/64	N54E/64NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	
80	040/64	058/12	N50W/62NE	Falha Sinistral Inversa	TD-EW	R'	Formação Barreiras	
81	040/64	040/64	N50W/64NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
82	030/70	030/70	N60W/70NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
83	020/56	020/56	N70W/56NE	Falha Normal	TD-EW	T	Formação Barreiras	
84	330/64	330/64	N60E/64NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras	

**TRAVESSÃO - CENOZOICO 09 (TR-CZ-09)**

n	PLANO	ESTRIA	ORIENTAÇÃO DO PLANO	TIPO DE ESTRUTURA	REGIME TECTÔNICO	TIPO FALHA	UNIDADE AFETADA	OBS
85	140/56	140/56	N50E/67SE	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras e cobertura amarelada	
86	310/44	310/44	N40E/44NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras e cobertura amarelada	
87	300/62	300/62	N30E/62NW	Falha Normal	E NW-SE	T	Formação Barreiras e cobertura amarelada	

